Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Wissenschaftliche Berichte
FZKA 7476

Jahresbericht 2008
der Hauptabteilung Sicherheit

Redaktion: M. Urban, A. Bickel
Hauptabteilung Sicherheit

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
2008

Zusammenfassung

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfasst Genehmigungsverfahren sowie die Kontrolle und die Durchführung von Arbeitssicherheits-, Strahlenschutz- und Werkschutzmaßnahmen in den und für die Institute und Abteilungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für alle Anlagen und kerntechnischen Einrichtungen auf dem Gesamtgelände des Forschungszentrums. Kompetenzerhalt im Strahlenschutz wird als weitere wichtige Aufgabe im Sinne einer aktiven Personalplanung für die Zukunft angesehen. Nachwuchswissenschaftler, junge Ingenieure, Diplomanden und Doktoranden führen kleine F+E-Projekte durch.

Der vorliegende Bericht informiert über die einzelnen Aufgabengebiete der Hauptabteilung und berichtet über die im Jahr 2008 erarbeiteten Ergebnisse.

Central Safety Department, Annual Report 2008

Summary

The Central Safety Department is responsible for licensing procedures and for supervising, monitoring and executing measures of industrial health and safety, radiation protection and security service at and for the institutes and departments of the Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Karlsruhe Research Centre), and for monitoring liquid effluents and the environment of all facilities and nuclear installations on the premises of the Research Centre. With regard to keep present knowledge in Radiation Protection, junior scientists, young engineers, PhD- and Master students do some R&D projects within the Central Safety Department.

This report gives details of the different duties and reports the results of 2008 routine tasks, investigations and developments of the working groups of the Department.

The reader is referred of the English translation of Chapter 1 describing the duties and organization of the Central Safety Department in more detail.

Inhaltsverzeichnis

1 Hauptabteilung Sicherheit: Aufgaben und Organisation 1

2 Genehmigungsverfahren 10

3 Arbeitssicherheit 14

3.1 Organisation und Aufgaben der Gruppe konventionelle Arbeitssicherheit 14

3.2 Unfallgeschehen 14

3.3 Arbeitsplatzüberwachungen 15

3.4 Arbeitsschutzausschuss 16

3.5 Umgang mit Gefahrstoffen 17

3.6 Wiederkehrende Prüfungen 18

4 Biologische Sicherheitsbereiche 20

4.1 Gentechnische Anlagen 20

4.1.1 Beratung und Organisation, Anzeige und Anmeldung von gentechnischen Anlagen und Arbeiten (Gentechnikrecht) 20

4.1.2 Begehungen und Sicherheitsunterweisungen in gentechnischen Anlagen 21

4.1.3 Dokumentations- und Berichtspflichten in gentechnischen Anlagen 22

4.1.3.1 Aufzeichnungen nach Gentechnik-Aufzeichnungsverordnung (GenTAufzV) 22

4.1.3.2 Einführung einer Software für Dokumentationspflichten nach GenTAufzV 22

4.2 Tierhaltungsanlagen 23

4.2.1 Beratung und Organisation, Genehmigungen (Tierschutzrecht) 23

4.2.2 Dokumentations- und Berichtspflichten gemäß TierSchG 23

4.2.3 Mitarbeit in der Tierschutz-Ethikkommission des RP Karlsruhe 24

4.3 Arbeiten mit infektiösen Materialien und Infektionsschutz 24

5 Strahlenschutz 26

5.1 Strahlenschutzorganisation im Forschungszentrum 26

5.2 Administrativer Strahlenschutz 26

5.2.1 Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung 26

5.2.2 Umsetzung des atomrechtlichen Regelwerkes 27

5.2.3 Betriebsüberwachung 27

5.2.4 Zentrale Erfassung und Überwachung von Personen nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung 28

5.2.4.1 Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen 28

5.2.4.2 Überwachung von Personen, die keine beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorien A oder B nach StrlSchV sind 29

5.2.4.3 Überwachung von Besuchern in Kontrollbereichen des Forschungszentrums 29

5.2.4.4	Inkorporationsüberwachung im Forschungszentrum	29
5.2.4.5	Ergebnisse der Personendosisüberwachung	30
5.2.5	Personen in fremden Strahlenschutzbereichen	31
5.2.5.1	Fremdfirmenpersonal in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums	31
5.2.5.2	Personal des Forschungszentrums Karlsruhe in Strahlenschutzbereichen fremder Anlagen oder Einrichtungen	32
5.2.5.3	Strahlenpassstelle	32
5.2.6	Zentrale Buchführung radioaktiver Stoffe	34
5.2.6.1	Kernmaterialbuchführung und Euratom-Aufsicht	34
5.2.6.2	Buchführung sonstiger radioaktiver Stoffe	35
5.2.6.3	Buchführungs- und Berichtspflicht der gemäß § 29 StrlSchV freigegebenen Stoffe	36
5.2.7	Transport radioaktiver Stoffe	37
5.3	Verpflichtungen aufgrund des Verifikationsabkommens zur Kernmaterialüberwachung und des Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen	39
5.4	Meldepflichtige Ereignisse nach Strahlenschutzverordnung	40
5.5	Operationeller Strahlenschutz	41
5.5.1	Arbeitsplatzüberwachung	41
5.5.2	Personendosimetrie	41
5.5.2.1	Kontaminationskontrollen	43
5.5.2.2	Arbeitserlaubnisse Strahlenschutz	44
5.5.2.3	Schichtdienst und Rufbereitschaft	45
5.5.2.4	Aus- und Weiterbildung	45
5.5.3	Kalibrierung und Inbetriebnahme des HFK-Monitors LB 147 zur Kontaminationsmessung an Kontrollbereichsausgängen	45
5.6	Freigabe nach §29 StrlSchV	46
5.6.1	Standardverfahren	46
5.6.2	Einzelfallverfahren	47
5.7	Raumluftüberwachung	48
5.7.1	Probenentnahme	48
5.7.2	Probenauswertung	48
5.8	Dichtheitsprüfungen	49
5.8.1	Voraussetzungen	49
5.8.2	Probenentnahme	49
5.8.3	Probenauswertung	50
5.9	Sicherheitsrelevante Instrumentierung, Wartung und Instandhaltung	50
5.9.1	Aufgaben	50
5.9.2	Wartung und Reparatur von Strahlenschutzmessgeräten, Eichfristverlängerung	50

5.9.3 Entwicklung mechanischer und elektronischer Komponenten 51
5.9.4 Konventionelle Überwachungssysteme 53
5.10 Physikalisches Messlabor 53
5.10.1 Aufgaben 54
5.10.2 Messsysteme 54
5.10.2.1 Alpha-Beta-Messtechnik 54
5.10.2.2 Gammaspektrometrie 54
5.10.2.3 Alphaspektrometrie 55
5.10.2.4 Flüssigszintillationsspektrometrie 55
5.11 Chemische Analytik 56
5.11.1 Aufgaben 56
5.11.2 Radiochemische Arbeiten 57
5.12 In-vivo Messlabor 60
5.12.1 Routine- und Sondermessungen 60
5.12.2 Cs-137-Referenzmessungen 63
5.12.3 Messungen mit dem K-40 Flaschenphantom im Rahmen der Nachwuchsförderung 64
5.13 Kalibrierlabor 65
5.13.1 Routinekalibrierung 65
5.13.2 Amtliche Eichabfertigungsstelle 66
5.13.3 Auftragsarbeiten 66
5.13.4 Bestimmung der Quellentransitzeiten t_{virt} 66
5.13.5 Eichfristverlängerung 72
6 Kompetenzerhalt im Strahlenschutz 73
6.1 Physikalische Messverfahren 73
6.1.1 Bestimmung von Radon in Trinkwasser mittels Flüssigszintillationsspektrometrie . 73
6.2 Dosimetrie zur Messung äußerer Strahlenexposition 75
6.2.1 Strahlenschutz beim Einsatz von Betanukliden in medizinischen Heilverfahren 75
6.2.2 Numerische Simulation in inhomogenen Beta-/Photonen-Strahlungsfeldern 80
6.2.3 Hybridmodelle für die externe Dosimetrie 84
6.2.4 Monte-Carlo-Simulationen zur Cf-252 Quelle im Kalibrierlabor 85
6.2.5 Shielding calculations for a transport tank for intermediate level liquid wastes 92
6.2.6 Hochdosisbestrahlung in der HDB 95
6.2.7 McCad: Einsatz eines CAD Interfaceprogramms für Monte Carlo Transportrechnungen 96
6.2.8 Rechencluster für Monte-Carlo-Simulationen 98

6.2.9 Neutronenfeldkalibrierung in einem Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente 102
6.2.10 Planung und Konstruktion einer Kontrollvorrichtung für Wiederkehrende Prüfungen von elektronischen Personendosimetern für Neutronen und Photonen 106
6.3 Anwendung von Routineverfahren zur Bestimmung der äußeren Strahlenexposition 109
6.3.1 TLD Verfahren 109
6.3.1.1 Umgebungsdosimetrie und spezielle Anwendungen 109
6.3.1.2 Nichtamtliche Personen- und Teilkörperdosimetrie 109
6.4 Dosimetrie nach Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper 112
6.4.1 Direkter Nachweis radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper 113
6.4.1.1 Intercomparison exercise 2008: comparison of results obtained in a whole body counter with either four NaI detectors or two HPGe detectors 113
6.4.1.2 Erstellung von (Teilkörper-) Voxelmodellen des Menschen für computergestützte dosimetrische Simulationen 117
6.4.1.3 Use of voxels phantoms for the optimisation of partial body counting Detector setups for the measurement with HPGe detectors of the radioactivity in different organs. 120
6.4.1.4 Validation of Monte Carlo simulations with Phoswich detectors and point sources 122
6.4.1.5 Validation of a Numerical Efficiency Calibration Procedure for a Partial Body Counter System with a Voxel Model of the LL-Realistic-Torso-Phantom 126
6.4.1.6 Effektive Brustwandstärke hinsichtlich Phoswich- und HPGe-Detektoren 129
6.4.1.7 Dosis innerhalb einer Wasserkugel in Abhängigkeit von Zellendicke, -anzahl und Energieverlust-Zuteilungs-Modus bei einer isotropen monoenergetischen Beta-Punktquelle 129
6.4.1.8 Simulation von durch Elektronen verursachten Dosen innerhalb dünner Schichten von gewebeäquivalenten Materialien 134
6.4.1.9 Application of image registration techniques to create individual voxel models 137
6.4.2 Biokinetik radioaktiver Stoffe im Körper 140
6.4.2.1 Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporationen von Plutonium und anderen Transuranen 140
6.4.2.2 Physiologie basierte biokinetische Modellierung für Plutonium 143
6.4.2.3 Untersuchung des Einflusses inter-individueller Variation auf die Deposition von Plutonium in Skelett und Leber 150
6.4.2.4 Rechnungen mit dem NCRP Wundmodell 158
6.5 Natürliche Strahlenexposition, Strahlenexposition bei „Arbeiten“ 161
6.5.1 Routinemäßige Ermittlungen der Radonexposition mit Kernspurverfahren 161
6.5.2 Teilnahme an der Vergleichsbestrahlung des BfS 162
6.5.3 Radon in Wasserwerken, BWPlus Projekt 162

7 Umweltschutz 163
7.1 Betriebsbeauftragte im Umweltschutz 163
7.1.1 Gefahrgutbeauftragter 163
7.1.2 Betriebsbeauftragter für Abfall 166
7.1.3 Betriebsbeauftragter für Immissionsschutz 168
7.1.4 Betriebsbeauftragter für Gewässerschutz 170
7.2 Emissions- und Umgebungsüberwachung 170
7.2.1 Fortluftüberwachung 171
7.2.1.1 Ableitung nicht-radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2008 171
7.2.1.1.1 Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe 171
7.2.1.1.2 Versuchsanlagen TAMARA und THERESA 172
7.2.1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2008 173
7.2.1.3 Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2008 184
7.2.1.3.1 Berechnungsgrundlagen 184
7.2.1.3.2 Meteorologische Daten 184
7.2.1.3.3 Ausbreitung und Ablagerung 185
7.2.1.3.4 Rechenprogramme 185
7.2.1.3.5 Einteilung der radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuklide 185
7.2.1.3.6 Ergebnisse der Dosisberechnung 187
7.2.1.4 Berechnung der Strahlenexposition in Folge einer angenommenen störfallbedingten Freisetzung von Tritium aus dem IMF II 192
7.2.2 Abwasserüberwachung 193
7.2.2.1 Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit dem Abwasser im Jahr 2008 196
7.2.2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2008 198
7.2.2.3 Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit dem Abwasser in den Rhein abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2008 200
7.2.3 Radiologische Umgebungsüberwachung 201
7.2.3.1 Direktmessung der Strahlung 204
7.2.3.2 Radioaktivitätsmessungen 205
7.2.3.3 Messfahrten im Rahmen des Störfalltrainingsprogramms 208
8 Werkschutz 210
8.1 Werkschutzbereich 210
8.1.1 Anmeldung und Zugang 210
8.1.2 Schadensaufnahme 211
8.1.3 Schlüsselverwaltung 213
8.1.4 Wechselschicht-Betrieb 213

8.2 Werkfeuerwehr ... 213
8.3 Einsatzleitung und Einsatzplanung ... 215
8.3.1 Einsatzplanung ... 215
8.3.2 Statistik und Analyse der Einsatzleiter-Einsätze ... 215
8.3.3 Übungen der Einsatzdienste ... 216
9 Zentrale Aufgaben ... 217
9.1 Datenverarbeitung der Hauptabteilung Sicherheit ... 217
9.1.1 IT-Infrastruktur ... 217
9.1.1.1 LAN ... 217
9.1.1.2 Hochverfügbare Server-Infrastruktur (Cluster) ... 218
9.1.1.3 Gruppendrucker ... 219
9.1.2 Elektronische Dosimetrie ... 219
9.1.3 Spezielle HS-Programme ... 219
9.2 Abteilungsübergreifende Arbeiten ... 220
9.2.1 Erweiterung des Schlüsselersatzsystems ... 221
9.3 Unterstützende Tätigkeiten ... 221
10 Management-Systeme in der Hauptabteilung Sicherheit ... 223
10.1 Zertifizierung der gesamten Hauptabteilung Sicherheit ... 223
10.2 Akkreditierungen ... 223
10.2.1 Akkreditierung des Physikalischen Messlabors ... 223
10.2.2 Akkreditierung des In-vivo Messlabors ... 223
10.2.3 Akkreditierung des Kalibrierlabors ... 224
10.3 Arbeitssicherheitsmanagementsystem ... 224
10.4 Begutachtung des Radonlabors durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ... 224
10.5 Ausblick ... 224
11 Veröffentlichungen ... 225
12 Literatur ... 228

Verzeichnis der Abkürzungen

ANKA	Ångströmquelle Karlsruhe
AtG	Atomgesetz
AtZüG	Atomrechtliche Zuverlässigkeitsüberprüfungs-Verordnung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle
BArbBl.	Bundesarbeitsblatt
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BImSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BR	Betriebsrat
BTI	Bereich Technische Infrastruktur
BTI-B	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Bauplanung
BTI-F	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Fertigung
BTI-V	Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Ver- und Entsorgung
EKM	Hauptabteilung Einkauf und Materialwirtschaft
FIZ	Fachinformationszentrum Karlsruhe
FR2	Forschungsreaktor 2
FTU	Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt
GenTAufzV	Gentechnikaufzeichnungsverordnung
GenTG	Gentechnikgesetz
GenTR	Gentechnikrecht
GenTSV	Gentechniksicherheitsverordnung
GSF	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
HDB	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
HS	Hauptabteilung Sicherheit
HS-TBG	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Technische Beratung und Genehmigungen
HS-KES	Hauptabteilung Sicherheit – Kompetenzerhalt Strahlenschutz
HS-ÜM	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Überwachung und Messtechnik
HS-WS	Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Werkschutz
HS-ZA	Hauptabteilung Sicherheit Zentrale Aufgaben
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
IBG	Institut für Biologische Grenzflächen
IfSG	Infektionsschutzgesetz

IFP	Institut für Festkörperphysik
IHM	Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik
IK	Institut für Kernphysik
IMF-FML	Institut für Materialforschung – Fusionsmateriallabor
IMK	Institut für Meteorologie und Klimaforschung
IMK-IFU	Institut für Meteorologie und Klimaforschung/Atmosphärische Umweltforschung
IMK-TRO	Institut für Meteorologie und Klimaforschung/Forschungsbereich Troposphäre
INE	Institut für Nukleare Entsorgung
IRS	Institut für Reaktorsicherheit
ITC-CPV	Institut für Technische Chemie/Chemisch-Physikalische Verfahren
ITC-TAB	Institut für Technische Chemie/Thermische Abfallbehandlung
ITC-WGT	Institut für Technische Chemie/Wasser- und Geotechnologie
ITG	Institut für Toxikologie und Genetik
ITP	Institut für Technische Physik
ITP-TLK	Institut für Technische Physik/Tritiumlabor Karlsruhe
ITU	Institut für Transurane
KHG	Kerntechnische Hilfsdienst GmbH
KIZ	Karlsruher Isochronzyklotron
KNK	Kompakte Natriumgekühlte Reaktoranlage
KrW/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
MED	Medizinische Abteilung
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor
OKD	Stabsabteilung Organisation und Kaufmännische Datenverarbeitung
PKM	Stabsabteilung Presse, Kommunikation und Marketing
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
QM	Qualitätsmanagement
QMB	Qualitätsmanagementbeauftragter
QMS	Qualitätsmanagementsystem
RöV	Röntgenverordnung
SI	Stabsabteilung Innovation
StFA	Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit“
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TAMARA	Testanlage für Müllverbrennung, Abgasreinigung, Rückstandsverwertung, Abwasserbehandlung
THERESA	Versuchsanlage zur thermischen Entsorgung spezieller Abfälle
TierSchG	Tierschutzgesetz

TRBA	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe
TÜV ET	TÜV Energie- und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg
UM	Umweltministerium Baden-Württemberg
VTMVO	Versuchstiermeldeverordnung
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
ZAG	Zyklotron Aktiengesellschaft
ZKBS	Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit

1 Hauptabteilung Sicherheit: Aufgaben und Organisation

Die Aufgabenstellung der Hauptabteilung Sicherheit umfasst die Kontrolle und die Durchführung von Arbeitssicherheits-, Strahlenschutz-, sowie Werkschutzmaßnahmen in den und für die Institute und Abteilungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH, sowie die Abwasser- und Umgebungsüberwachung für alle Einrichtungen auf dem Gelände des Forschungszentrums, die mit radioaktiven Stoffen umgehen. Eine weitere Kernaufgabe stellt die Bearbeitung und Koordinierung von Genehmigungsverfahren dar. Die Bemühungen der HS, durch den Aufbau einer Abteilung, die sich speziell um den Kompetenzerhalt im Strahlenschutz bemühte, indem sie Nachwuchswissenschaftler, junge Ingenieure, Diplomanden und Doktoranden mit F+E-Projekten betraute, hat 2009 Früchte getragen: Mit Wirkung zum 1.1.2009 wurde aus der Abteilung „Kompetenzerhalt im Strahlenschutz“ das „Institut für Strahlenforschung“ gegründet.

Die Hauptabteilung Sicherheit verfügt über ein Qualitätsmanagementsystem, im Jahr 2007 wurde die gesamte Hauptabteilung zertifiziert, 2008 wurde neben den beiden bereits akkreditierten Laboratorien „Physikalischen Messlabor“ und „In-Vivo-Messlabor“ das Akkreditierungsaudit für das „Kalibrierlabor“ durchgeführt, das erfolgreich verlaufen ist. Die Akkreditierungsurkunde wird im Jahr 2009 erwartet.

Am 31. Dezember 2008 waren in der Hauptabteilung Sicherheit 193 wissenschaftliche, technische und administrative Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie vier Doktoranden der Universität Karlsruhe beschäftigt. 15 Studierende wurden im Rahmen der dualen Ausbildung mit der Berufsakademie Karlsruhe zu Ingenieurinnen und -ingenieuren hauptsächlich im Bereich Strahlenschutz, aber auch im Bereich Arbeitssicherheit ausgebildet. Der Organisationsplan der Hauptabteilung ist auf Seite 5 wiedergegeben.

Technisch-Administrative Beratung und Genehmigungen (HS-TBG)

Diese Abteilung hat beratende, kontrollierende und administrativ steuernde Funktionen auf den Gebieten der Arbeitssicherheit, der biologischen Sicherheit, des Strahlenschutzes, der Überwachung und Buchführung radioaktiver Stoffe, der Abfallwirtschaft, der Gefahrgüter und des betrieblichen Notfallschutzes. Sie überprüft in den zur Umsetzung und Durchführung verpflichteten Organisationseinheiten die Erfüllung gesetzlicher Pflichten, behördlicher Auflagen und Vorschriften zur technischen Sicherheit. Zu ihren Aufgaben gehört die Erfassung und Dokumentation sicherheitsrelevanter Daten und Vorgänge. Weitere Aufgabenschwerpunkte sind die organisatorische und administrative Durchführung der Emissions- und Immissionsüberwachung für alle atomrechtlichen Umgangsgenehmigungen des Forschungszentrums sowie die Planung und Durchführung von Genehmigungsverfahren für den Forschungsbereich mit Ausnahme von Baugenehmigungen.

Die Arbeitsgruppe mit dem Schwerpunkt „Arbeitssicherheit“ ist Ansprechpartner für die Organisationseinheiten des Zentrums und Kontaktstelle zu den Behörden in Fragen der konventionellen Arbeitssicherheit. Sie überwacht die innerbetriebliche Umsetzung entsprechender Auflagen. Sie führt die Bestellung der nach den Unfallverhütungsvorschriften geforderten Beauftragten durch und sorgt für deren Aus- und Weiterbildung. Zur Information der Mitarbeiter des Zentrums werden von der Arbeitsgruppe Informationsmedien zur Verfügung gestellt. Zur Beurteilung des Unfallgeschehens im Zentrum werden die Unfälle analysiert und ausgewertet. Die Erledigung der Arbeiten erfolgt in enger Koordination mit der Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit (StFA)“.

Im Arbeitsschwerpunkt „Strahlenschutz“ werden für den Strahlenschutzverantwortlichen die Bestellungen der Strahlenschutzbeauftragten durchgeführt und deren Tätigkeit sowie der praktische Strahlenschutz durch Information, Beratung und Behördenkontakte unterstützt und die Einhaltung der Vorschriften der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung sowie behördlicher Auflagen überprüft. Weitere Aufgaben sind die Pflege der Datenbanken mit den Messdaten der beruflich strahlenexponierten Personen und die Terminverfolgung für Strahlenschutzunterwei-

sungen und arbeitsmedizinische Untersuchungen. Er schafft die Voraussetzungen für den Einsatz von Fremdfirmenpersonal in Kontrollbereichen des Forschungszentrums und stellt die Strahlenpässe für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Forschungszentrums aus, die in fremden Anlagen oder Einrichtungen tätig werden. Als weitere Aufgabe wird hier zentral für das Forschungszentrum die Buchhaltung zur Überwachung von Kernmaterial und sonstigen radioaktiven Stoffen im Forschungszentrum durchgeführt, Materialbilanzberichte erarbeitet und an die zuständigen Behörden weitergeleitet sowie Inspektionen und Inventuren durch Euratom vorbereitet und begleitet. Die administrative Bearbeitung von Freigabeverfahren im Sinne des § 29 StrlSchV einschließlich der zugehörigen Buchführungs- und Mitteilungspflichten wird ebenfalls von dieser Arbeitsgruppe wahrgenommen.

Im Arbeitsschwerpunkt „Umweltschutz“ sind die Abfall-, Gefahrgut-, Immissionsschutz- und Gewässerschutzbeauftragten zusammengefasst, denen die Aufgaben entsprechend gesetzlicher Regelungen übertragen sind. Es sind dies insbesondere Beratungs-, Informations- und Überwachungsaufgaben in den für die Umwelt relevanten Bereichen. Umwelt und sicherheitsrelevante Informationen werden für die Verantwortlichen in Form von Datenbanken zur Verfügung gestellt. Hierzu gehören u. a. Sicherheitsdatenblätter und Gefahrstoffinformationen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Überwachung der Emissionen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus den kerntechnischen Anlagen, Einrichtungen und Instituten des Forschungszentrums Karlsruhe und die Überwachung der Immissionen in der Umgebung. Überwachungsziel ist die möglichst lückenlose Erfassung aller Emissionen und Immissionen und der auf Messungen und Berechnungen gestützte Nachweis der Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte.

Operationeller Strahlenschutz

Die Abteilung „Operationeller Strahlenschutz“ unterstützt die Strahlenschutzbeauftragten, die für den Schutz der mit radioaktiven Stoffen umgehenden oder ionisierender Strahlung ausgesetzten Personen des Forschungszentrums verantwortlich sind. Aus dieser Aufgabenstellung heraus sind viele Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen dieser Abteilung dezentral in den Organisationseinheiten des Forschungszentrums tätig. Sie sind dort die Ansprechpartner in Fragen des arbeitsplatzbezogenen Strahlenschutzes, sie geben Hinweise und Empfehlungen und achten auf strahlenschutzgerechtes Verhalten.

Von den Bereichen „Arbeitsplatzüberwachung” werden die Auswertung der direkt anzeigenden Dosimeter vorgenommen, die amtlichen Dosimeter, sowie nach Bedarf Teilkörper- oder Neutronendosimeter ausgegeben, nach Plan Kontaminations- und Dosisleistungsmessungen durchgeführt und die Aktivitätskonzentration in der Raumluft überwacht. Die Strahlenschutzmitarbeiter veranlassen bei Personenkontaminationen die Durchführung der Dekontamination. Zu ihrer Aufgabe gehört die Überwachung der Materialtransporte aus den Kontrollbereichen in das Betriebsgelände des Forschungszentrums und aus dem Betriebsgelände nach außen. Ihre Aufgabe umfasst auch die Durchführung von Messungen für die Entscheidung, ob eine Freigabe des Materials aus der atomrechtlichen Überwachung möglich ist, oder ob das Material als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss. Neben den strahlenschutzrelevanten Messungen vor Ort werden auch Messaufgaben aus dem Bereich des konventionellen Arbeitsschutzes durchgeführt.

Messverfahren, Geräte Wartung, Instandhaltung

Im Aufgabenschwerpunkt „Strahlenschutzmessgeräte” werden Wartungsarbeiten, Reparaturen und Kalibrierungen an Anlagen zur Raum- und Abluftüberwachung und an Gammapegel-Messstellen durchgeführt. Weitere Aufgaben sind die Eingangskontrolle neuer Geräte, der Test von neu auf dem Markt angebotenen Messgeräten, sowie der Betrieb von Anlagen zur Kalibrierung von Dosis- und Dosisleistungsmessgeräten.

Desweiteren ist hier die technische Wartung und Instandhaltung der Alarmanlage des Forschungszentrums, das ein Teil der Sicherheitsorganisation ist, angesiedelt Neben der konzeptio-

nellen Weiterentwicklung gehört auch das Abarbeiten eines umfangreichen Prüfkalenders zu den Aufgaben.

Abteilung Kompetenzerhalt im Strahlenschutz

In Zusammenarbeit mit der Universität Karlsruhe und der Berufsakademie Karlsruhe und mit Unterstützung des Umweltministeriums des Landes Baden-Württemberg und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung werden in der Hauptabteilung Sicherheit mehrere Programme zum Kompetenzerhalt im Strahlenschutz durchgeführt. Nachwuchswissenschaftlerinnen und –wissenschaftler arbeiten unter Anleitung erfahrener Kollegen und unter Einbindung von Studenten, Diplomanden und Doktoranden auf den Gebieten:

- Kernstrahlenmesstechnik und Spektrometrie
- Radiochemie
- externe Dosimetrie
- Biokinetik sowie In-Vivo-Diagnostik radioaktiver Stoffe im Körper und interne Dosimetrie sowie
- natürliche Strahlenexposition am Arbeitsplatz, in Wohnungen, in der Umwelt

Des Weiteren werden in der Abteilung „Kompetenzerhalt im Strahlenschutz“ aber auch das „In-vivo-Messlabor“, das „Physikalische Messlabor“, die „Chemische Analytik“ und das „Radonlabor“ betrieben und Routineaufgaben im Bereich der nichtamtlichen Personendosimetrie und Ortsdosimetrie erledigt.

Das akkreditierte „physikalische Messlabor“ ermittelt die Aktivitätskonzentrationen der Abwässer der Einrichtungen des Forschungszentrums und entscheidet, ob diese Abwässer dekontaminiert werden müssen oder direkt der Kläranlage zugeführt werden dürfen. Sie bilanziert die Aktivitätsableitungen in den Vorfluter. Dieser Gruppe obliegt darüber hinaus die Durchführung aller spektrometrischen Nuklidbestimmungen.

In der Gruppe „Chemische Analytik” werden die radiochemischen Untersuchungen von Umweltproben, von Proben im Rahmen der Emissionsüberwachung und von Proben für das Freimesslabor durchgeführt. Zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes von Luft, Wasser, Boden, Sediment, Fisch und landwirtschaftlichen Produkten werden regelmäßig Proben in der Umgebung des Forschungszentrums genommen und in den Laboratorien der Abteilung gemessen.

Im akkreditierten „In-vivo-Messlabor” werden mittels Ganz- und Teilkörperzählern Nukliddepositionen im Körper ermittelt und Verfahren zur Bestimmung der Äquivalentdosis bei innerer Strahlenexposition weiterentwickelt. Im Vordergrund steht neben den Routinemessungen die stetige Verbesserung des Nachweises von Thorium, Uran, Plutonium und Americium in Lunge, Leber und im Skelett, sowie die Interpretation von Messergebnissen anhand von Stoffwechselmodellen.

Das „Radonlabor“ entwickelte passive Radondiffusionskammern (Radonexposimeter) mit Kernspurätzdetektoren zur Bestimmung der natürlichen Strahlenexposition durch Radon und stellte diese sowohl Wasserwerken als auch privaten Kunden zur Verfügung. In der Regel wird auch die Auswertung vom Radonlabor übernommen.

Werkschutz

Der Abteilung Werkschutz besteht aus den Gruppen „Werkschutzbereiche”, und „Werkfeuerwehr”.

Zu den Aufgaben der Gruppe „Werkschutzbereiche” gehört der allgemeine Werkschutz durch Streifen- und Überwachungsdienst für das Gesamtareal des Forschungszentrums Karlsruhe. Diese Gruppe führt Kontrollen von zur Ein- oder Ausfuhr bestimmten Gütern durch, überwacht das

Schließwesen und ist für den ordnungsgemäßen Ablauf des Straßenverkehrs im Bereich des Forschungszentrums zuständig. Es wird auf die Einhaltung der Ordnungs- und Kontrollbestimmungen geachtet und im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten, die Aufklärung von Schadensfällen betrieben.

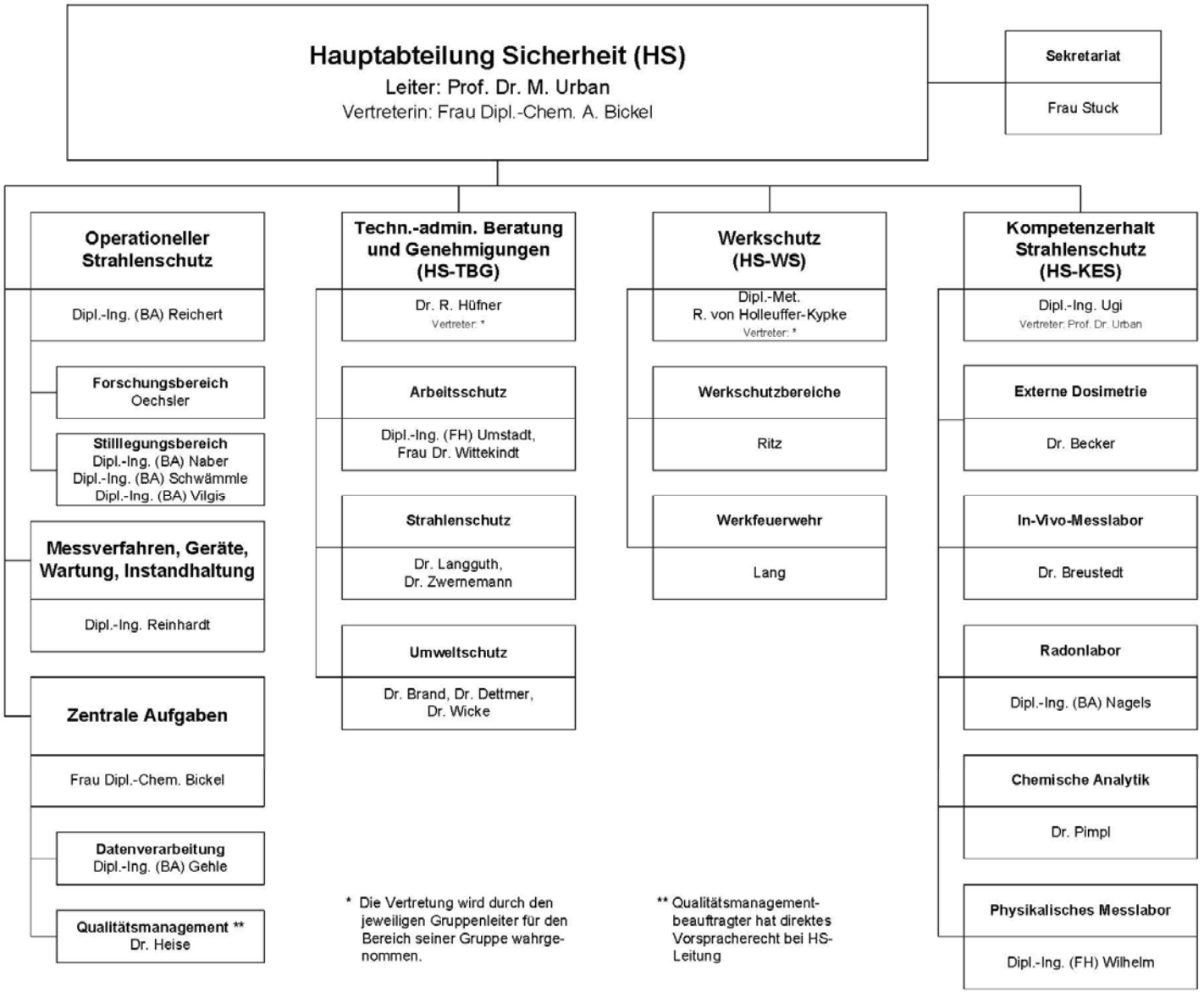
Die „Werkfeuerwehr" ist mit einer Schicht ständig einsatzbereit. Ihre Aufgaben umfassen neben Löscheinsätzen, vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen und technischen Hilfeleistungen auch die Prüfungen, Instandsetzungen und Wartungsarbeiten an allen im Zentrum benutzten atemschutztechnischen Geräten, sowie den Feuerlöscheinrichtungen. Der Leiter der Werkfeuerwehr ist Einsatzleiter im Sinne des Alarmplanes des Forschungszentrums, in seiner Abwesenheit wird er vom amtierenden Schichtführer vertreten.

Zentrale Aufgaben

Die Stabsstelle „Zentrale Aufgaben" nimmt die Erledigung der Querschnittsaufgaben der Hauptabteilung Sicherheit teilweise wahr und unterstützt zum anderen Teil koordinierend die anderen Abteilungen.

Als Arbeitsschwerpunkte wurde dem Stab der Betrieb und die Weiterentwicklung der HS-Datenverarbeitung und die Koordination von abteilungsübergreifenden Arbeiten übertragen. Desweiteren wurde innerhalb der Stabsstelle das Qualitätsmanagementsystem (QMS) der Hauptabteilung Sicherheit aufgebaut und weiterentwickelt.

Stand: 31.12.2008



1 Central Safety Department: Duties and Organisation

The Central Safety Department is responsible for licensing, supervising, monitoring and, to some extent, executing measures of radiation protection, industrial health and safety as well as physical protection and security at and for the institutes and departments of the Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Karlsruhe Research Centre), and for monitoring liquid effluents and the environment of all facilities and nuclear installations on the premises of the Centre. The efforts of the Central Safety Department to keep knowledge in Radiation Protection by installing a department,in which junior scientists, young engineers, PhD- and Masters students did R&D projects has beared fruit. Since January 2009 the department is now a separate “Institute of Radiation Research”.

The Central Safety Department has a quality management system implemented. In 2007 the whole Central Safety Department achieved a certification and after the accreditiation of the Physical Measurements Laboratory and the In-Vivo-Laboratory the “Calibration Laboratory” had had his accreditation audit in 2008.The certificate is expected in 2009.

As per December 31, 2008 the Central Safety Department employed 202 scientific, technical, and administrative staff members, three Ph.D. students and 14 students for radiation protection respectively occupational safety engineers.

Technical and administrative Consulting and Licensing

The Technical and administrative Consulting and Licensing Unit has consulting, controlling, licensing and managing functions in the various fields such as industrial safety, biological safety, radiation protection, radioactive materials surveillance and accountancy, waste management, hazardous goods, and in-plant emergency protection. It verifies compliance with legal duties, conditions imposed by authorities, and other technical safety regulations in the institutes and departments of the Centre. These activities also include the centralised acquisition and documentation of safety related data, facts, and events.

The "Industrial Safety Group" has a controlling and consulting function in all areas of conventional health and safety. On the basis of work place analyses it suggests protective measures to the institutes and departments responsible for executing such regulations. It also records and reports accidents at work and appoints persons with special functions in the non-nuclear part of the safety organisation of the Centre.

The "Radiation Protection Group" appoints the Radiation Protection Officers and supports their activities as well as practical radiation protection work through providing information, consultancy, and contacts with authorities and monitors compliance with the Radiation Protection and the X ray Ordinance. It manages the computerised data files containing the data measured for occupationally radiation exposed personnel, and also manages the deadlines for radiation protection instructions and health physics examinations. It creates the preconditions for personnel of external companies to be allowed to work in controlled areas, and it fills in the radiation passports for staff members working in external facilities. It is also responsible for central bookkeeping and accountancy as well as surveillance of nuclear materials and radioactive substances at the Centre. It compiles all inventory change reports and prepares inspections and inventory verification exercises by Euratom. The group is also responsible for the central bookkeeping of former radioactive material which passed through the clearance procedure.

The "Environmental Protection Group" combines all officers responsible for waste, hazardous substances, environmental impacts, and protection of water. The main task of the officers is to give information, expert advise and to supervise environmental-related activities. Relevant information about environment and safety are hold in a databank which includes also material safety data sheets and information’s around hazardous materials. The group controls, coordinates and balances the activity discharges into the atmosphere from all facilities on the prem-

ises of the Research Centre and determines the radiation exposure of the environment. The aim is to record the complete emission and immission and to verify the compliance with the maximum permissible value.

Operational Radiation Protection

The Operational Radiation Protection Unit supports the Radiation Protection Officers responsible for protecting the persons handling radioactive substances or exposed to ionising radiation. In exercising these functions many staff members work in a decentralised way, being assigned to the institutes of the Centre. The members of the Radiation Protection Unit are liaisons to the members of institutes or departments in matters of radiation protection on site and provide information and recommendations.

The "Work Place Monitoring Groups" are responsible for the distribution of the official dosimeters and for the evaluation of the working place dosimeters.. In accordance with a pre-set plan, routine contamination and dose rate checks are performed, and activity concentrations in the air of workrooms are monitored. The radiation protection staff organises decontamination whenever personnel are contaminated. The duties of the staff in these groups also include monitoring of materials transports from controlled areas into the surveillance areas of the Research Centre and out of the premises of the Centre. When applicable, they issue clearances for the reuse or disposal of materials. In addition to radiation measurements the tasks of the group are extended to measurements in the field of industrial health, such as noise, hazardous materials, non-ionizing radiation etc.

Measurement, Methods, Instruments

The Maesurement, Methods, Instruments unit is responsible for repairing and calibrating all types of radiation protection measuring equipment. Other activities include acceptance checks of new equipment, tests of measuring gear new on the market, and the operation of irradiation facilities for calibration of dose rate and dose meters.

A second responsibility is the repairing, modernization and the in-service-inspection of the hazart alert system, a part of the Safety Organization of the Research Centre.

Keeping competence in radiation protection

In cooperation with the Karlsruhe Scientific University and the Karlsruhe University of Cooperative Education and with the support of the Department of the Environment of the federal state of Baden-Wuerttemberg and the Federal Department of Education and Research some programmes for keeping competence in radiation protection are arranged in the Central Safety Department. Young scientists work under the guidance of experienced scientists and with the implementation of students, graduands and postgraduates in the following fields:

- Nuclear radiation measurement techniques und spectrometry
- Radiochemistry
- External dosimetry
- Biokinetics and in-vivo-diagnostics of radioactive substances in bodies and internal dosimetry and
- Natural occurring radiation exposition at working places, in living spaces and in the environment

In addition the unit runs the “Physical Measrurements Laboratory”, the “Chemical Analysis Group” the “in-vivo-laboratory” and the “radon-laboratory” and completes also routine work in nonofficial personal dosimetry and work place dosimetry.

The accredited “Physical Measurements Laboratory” determines the activity concentrations in the wastewater at the installations, and decides whether these liquid effluents have to be decontaminated or can be passed direct to the sewage treatment plant. It also establishes balances of the activity discharges. Beyond that the Group is responsible for carrying out all spectrometric nuclide assays.

The "Chemical Analysis Group" conducts radiochemical examinations of environmental samples and of samples collected for purposes of liquid and gaseous effluent monitoring and of samples for the clearance measurement laboratory. For the determination of the radioactivity content in the air, water, ground, sediment, fish and agricultural products samples are collected at regular intervals and evaluated in the labs of the unit.

The accredited “In-vivo-laboratory” runs human body counters and special partial body counters to deter-mine nuclide depositions in the body. Procedures are applied to determine the equivalent dose in cases of internal exposure. These efforts are concentrated mainly on improving methods of detecting thorium, uranium, plutonium, and americium in the lungs, the liver, and the skeleton, and to make available metabolic models for interpretation of the measured results.

The “radon-laboratory” constructed passive radon-diffusion-champers (radon-exposimeters) with damage track detectors to detect natural occurring radiation exposition caused by radon for the use in waterworks and for private clients. Usually the radon-laboratory executes the evaluation of the detectors, too.

Works Security Service

The Security Unit is made up of the Works Security Service and the Fire Brigade. The "Works Security Service" is responsible for all physical security measures on the whole area of the Research Centre; these du-ties are fulfilled by patrol and surveillance services and by access control at the main entrance gates. The Group also checks goods to be introduced into or removed from the Centre, monitors locks, and is responsible for overseeing road traffic on the premises of the Centre.

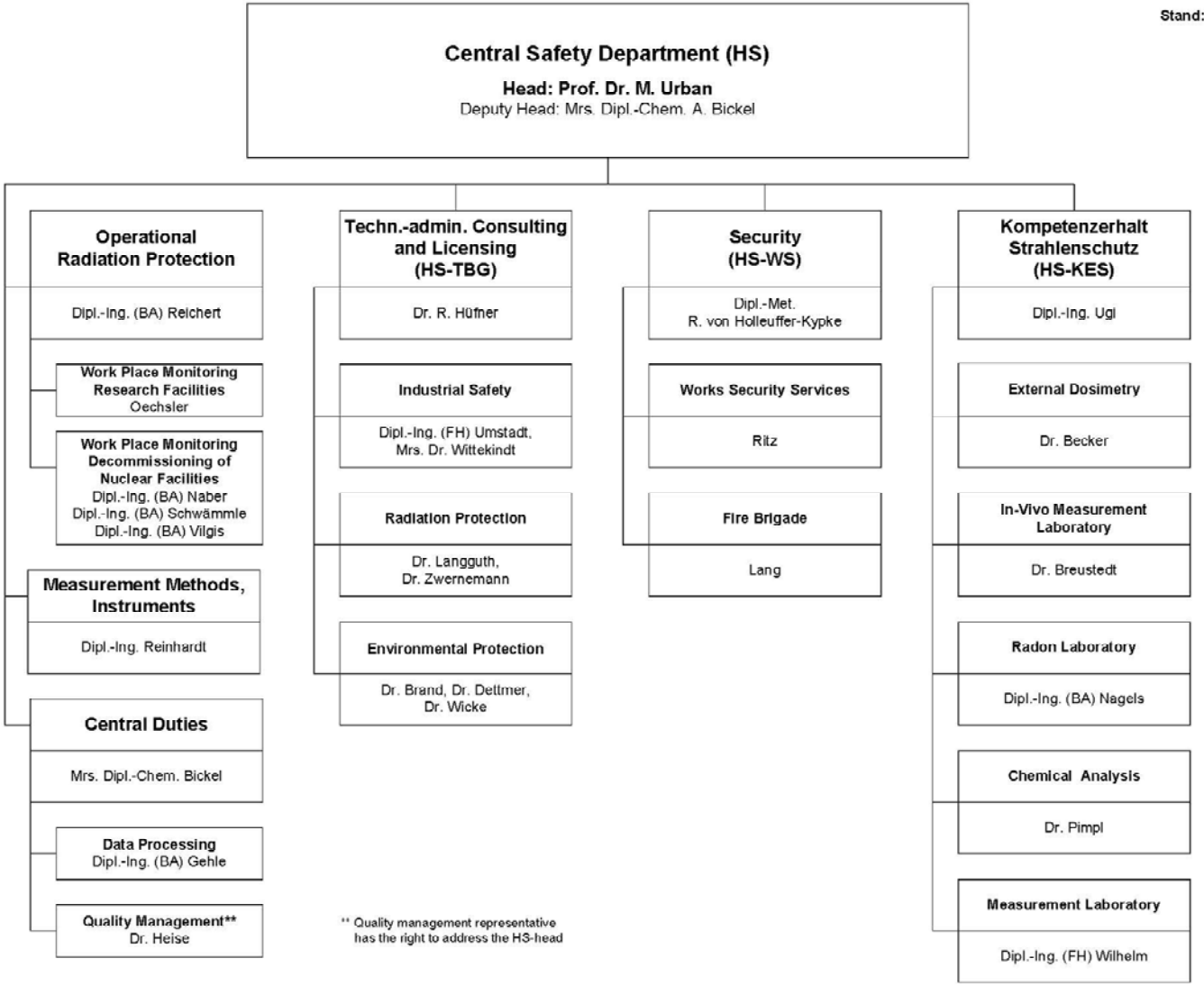
One shift of the "Fire Brigade" is permanently ready for action on the premises of the Centre. Its duty comprises fire fighting, preventive fire protection, and technical assistance in many ways, and also the inspection, repair and maintenance of all respiration protection gear used at the Centre. The " Fire Brigade " provides the Task Force Leader for the safety organisation of the Centre "around the clock", elaborates and updates assignment documents, conducts drills of the task forces, and writes reports about assignments.

Central duties

The staff position „central duties“ is responsible for the implementation and coordination of supporting tasks within the Central Safety Department.

Main duties are the operation and the further development of the data processing of the Central Safety Department and the coordination of supporting tasks concerning the different compartments. Furthermore the quality management system (QMS) of the Central Safety Department was established within this unit and enhanced. The QMS supported significantly the realisation of the accreditations in 2008 and the certification of the Central Safety Department.

Stand: 31.12.2008



2 Genehmigungsverfahren

K. Dettmer, R. Hüfner, E. Wittekindt, O. Zwernemann

Ein nicht unerheblicher Teil der Forschungsaktivitäten unseres Zentrums bedarf der Genehmigung oder unterliegt zumindest der Aufsicht staatlicher Behörden. Gleiches gilt für die Durchführung vieler Aufgaben aus dem Bereich der Infrastruktur, die die Erfüllung des Forschungsauftrages des Zentrums erst ermöglichen.

Die Arbeit bei der Abwicklung von Genehmigungsverfahren ist durch eine enge Kooperation mit den im jeweiligen Verfahren betroffenen Organisationseinheiten des Forschungszentrums gekennzeichnet. Im Arbeitsablauf selbst gibt es dabei nur wenige rechtsspezifische Besonderheiten, so dass die Aufgaben weitgehend pauschal dargestellt werden können. Wesentliche Punkte sind:

- die Prüfung neuer Vorhaben oder Änderungen in der Nutzung bestehender Anlagen auf ihre genehmigungsrechtliche Erheblichkeit
- die Abstimmung des Antragsumfangs und des Terminplanes zur Abwicklung des Genehmigungsverfahrens
- die Koordinierung der Erstellung der Antragsunterlagen in enger Zusammenarbeit mit den betroffenen Organisationseinheiten
- die Vorprüfung und Verfolgung von Gutachteraufträgen
- die inhaltliche Prüfung von Gutachten und Behördenbescheiden
- die Abgabe förmlicher Willenserklärungen (Anträge, Rechtsmittel) unter Mitzeichnung durch die Hauptabteilung Recht und Versicherungen (RA)
- die Abgabe von Änderungsanzeigen sowie von Informationen zu technischen Aktualisierungen bei bestehenden Genehmigungen
- die Terminüberwachung bei zeitlich befristeten Genehmigungen und Zulassungen.

Der zeitliche Verlauf von Genehmigungsverfahren kann sich von wenigen Tagen bis zu mehreren Jahren hinziehen. Dementsprechend unterschiedlich ist auch der administrative Aufwand bei der Abwicklung, aber auch bei der Betreuung von Genehmigungen nach ihrer Erteilung.

In der Tab. 2-1 sind die dem Forschungszentrum Karlsruhe erteilten Genehmigungen und Zulassungen zusammengefasst, die am Jahresende 2008 Gültigkeit besaßen.

Neben den zum Tagesgeschäft zählenden Anpassungen, Erweiterungen und Aktualisierungen bestehender Genehmigungen wurden einige besonders zu erwähnende Vorgänge bearbeitet.

Wie bereits in den vergangenen Jahren machten die Freigaberegelungen nach § 29 der Strahlenschutzverordnung einen großen Anteil der atomrechtlichen Genehmigungen aus. Die Bedeutung wird auch aus der Tatsache deutlich, dass 2008 fast 300 Chargen unterschiedlichster Reststoffe die Freigabe nach § 29 durchliefen.

Mit dem Umzug des Instituts für Nanotechnologie (INT) in das neue Institutsgebäude (Gebäude 640) war es erforderlich, zwei Umgangsgenehmigungen nach Strahlenschutzverordnung sowie die Genehmigungen beziehungsweise Anzeigen für den Betrieb von 10 Röntgeneinrichtungen nach Röntgenverordnung anzupassen. Der Ablauf wurde so organisiert, dass keine Verzögerungen durch die Abwicklung genehmigungstechnischer Fragen auftraten.

Das Radonlabor der HS-KES wurde im Berichtsjahr nach entsprechender Überprüfung zur Messstelle gemäß § 95 StrlSchV bestimmt, außerdem erhielt das Forschungszentrum eine neue Genehmigung nach § 15 StrlSchV zur Beschäftigung seiner Mitarbeiter in fremden Anlagen und Einrichtungen.

An der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA, die von Institut für Synchrotronstrahlung (ISS) betrieben wird, wurden im Jahr 2008 folgende genehmigungsrelevanten Umbauten und Erweiterungen vorgenommen:

- Zur Erhöhung des Photonenflusses am "SUL"-Strahlrohr, wurde der vorgeschaltete Wiggler modifiziert.
- Die ANKA-Halle (Gebäude 348) wurde im südwestlichen Bereich erweitert, damit dort zukünftig weitere Bestrahlungspositionen aufgebaut werden können. Da hierbei auch Tätigkeiten in Bereichen durchgeführt werden mussten, die nach bestehender Genehmigung Sperrbereich waren, war nach umfangreichen Beweissicherungsmessungen eine Änderung der Genehmigung erforderlich. Nach Erteilung der Genehmigung wurde der Routinebetrieb des Synchrotrons durch die Bauarbeiten nicht behindert.
- Der Aufbau bzw. Umbau der Bestrahlungspositionen "NANO", "PDIFF" und "TOPO-TOMO" konnte genehmigungsseitig nach dem vereinfachten Anzeigeverfahren abgewickelt werden, ohne das für diese Maßnahmen eine Änderung der Genehmigung erforderlich gewesen wäre.

Ein Beispiel für ein sehr umfangreiches Genehmigungsverfahren war die 2006 in Angriff genommene Aktualisierung der Umgangsgenehmigung für den Bereich technische Infrastruktur (BTI) zur Ableitung von radioaktiven Stoffen mit dem Abwasser. Die neue Genehmigung wurde im Zusammenhang mit der "neuen" Strahlenschutzverordnung von 2001 sowie der Anpassung an die "Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV" in der Fassung vom 21.01.2005 erforderlich. Die Genehmigung wurde Anfang 2008 erteilt.

Deutlich aufwändiger als zunächst angenommen gestalteten sich die Arbeiten zur Vorbereitung der Überleitung des Stilllegungsbereichs des Forschungszentrums auf die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe, Rückbau- und Entsorgungs-GmbH (WAK GmbH). In einer ersten Stufe (Stufe 1) sind davon die Anlagen FR2, KNK und MZFR, sowie die Betriebsbereiche der HDB betroffen. Am Beispiel der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe sollte gezeigt werden, dass durch vorzeitiges Abarbeiten aller für die Überleitung vorgesehener Änderungen eine Situation geschaffen werden kann, die für den eigentlichen Übergang nur noch den „Austausch“ des Strahlenschutzverantwortlichen (Genehmigungsinhaber) erfordert.

Der Umstand, dass jede Anlage/Einrichtung des Stilllegungsbereichs ihr Genehmigungsverfahren eigenständig und eigenverantwortlich bearbeitet hat und jede Anlage/Einrichtung von einem anderen Aufsichtbeamten betreut wurde, hat dazu geführt, das die entsprechenden Verfahrensabläufe im Laufe der Zeit divergierten. Hinzu kam, dass die WAK GmbH, die als übernehmende Genehmigungsinhaberin natürlich in die Verfahren eingebunden wurde, ihre eigenen administrativen Abläufe in die Verfahren mit einbrachte.

Nach entsprechend umfangreicher Abstimmung wurden dann für die Anlagen/Einrichtungen im Berichtsjahr Änderungsanzeigen zur personellen Organisation und im Falle der HDB auch die zur Änderung des Genehmigungsinhabers bei dem Umweltministerium Baden Württemberg eingereicht. Weiterhin wurden für alle betroffenen Anlagen/Einrichtungen bei dem Finanzministerium Baden-Württemberg und dem Bundesministerium für Forschung und Bildung Anträge zur Übertragung von Garantieerklärungen, die dem Nachweis der erforderlichen Deckungsvorsorge für die jeweilige atomrechtliche Genehmigung dienen, vom Forschungszentrum auf die WAK-GmbH gestellt. Erklärtes Ziel aller Beteiligten ist ein termingerechter Wechsel der Genehmigungsinhaberschaft zum 01. Juli 2009.

	AtG		StrlSchV					RöV		BImSchG		WHG	GenTG	IfSG	TierSchG				Fach-
	§ 7	§ 9	§ 7	§ 11	§ 15	§ 29	§ 117						§ 11	§ 44	§ 7	§ 9	§§ 6,10	§ 11	betriebe
Institut/ Abteilung	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Genehmig.	Anzeige.	Genehmig.	Anzeige	Genehmig.	Anzeige	Genehmig.	angemeldete Bereiche	angemeldete Bereiche	Genehmig.	Ausnahme-genehmig.	Anzeige	Genehmig.	Zulassung
BTI	1		4			1		1	1	2		4							4
FTU			1					2					1						
FZK		3			1	2													
HDB			1							1									
HS		1						2											
IFP			1					4	2										
IHM								3	2				1						
IK			3	3					2										
IBG													3			3	1	1	
IMF		1	1					6	6										
IMK			3				4						1						
IMT								2											
INE		1						1	2										
INT			2					6	6										
ISS			1	1															
IFG			5					3	4	2	1		3	2					
ITG			3										12		10	34	4	1	
ITP			2						4										
MED			1																
MZFR			2			1													

Tab. 2-1: Genehmigungen und Anzeigen der Institute und Abteilungen des Forschungszentrums Karlsruhe, Stand Dez. 2008, ausgenommen sind die Genehmigungen nach §§ 7 und 9 AtG, die vom Geschäftsbereich Stilllegung selbst betreut werden

Parallel zu den Genehmigungsverfahren der Stufe 1 liefen erste Vorbereitungen zur Überleitung der so genannten Stufe 2, in der weitere, vom Forschungszentrum nicht mehr, oder nicht mehr nuklear betriebene Einrichtungen zum Zwecke des Rückbaus an die WAK GmbH übergeben werden sollen. Dabei handelt es sich um das Isochronzyklotron der ehemaligen HZY, den 3,75 MV Van-de-Graaff Generator des IK, das Gebäude 341 des ehemaligen IRCh, die Gebäude des ITC-CPV und die Bauabschnitte 1 und 2 des IMF II-FML (Heiße Zellen). Die Arbeiten werden in 2009 fortgesetzt, unterliegen aber nicht dem gleichen Zeitdruck wie die Arbeiten zur Stufe 1.

In 2008 wurden für weitere genehmigungspflichtige Vorhaben mit Bezug zum Gentechnik-, Tier- und Infektionsschutzgesetz Genehmigungen erwirkt. Der Bereich Gentechnik wurde auch in 2008 mit 15 gentechnischen Anlagen und 7 angemeldeten bzw. angezeigten S2-Arbeiten kontinuierlich erweitert. Am Forschungszentrum wurden hierzu in 2008 zwei neue S1-Anlagen am IHM (zur Untersuchung des physiologischen Effekts gepulster elektrischer Felder auf Pflanzenzellen) und am ITG (Fischhaus-2, Arbeitstitel: „Funktionelle Analyse von Genen, welche die apico-basale Polarität von neuronalen Epithelien in *Oryzias latipes* und *Danio rerio* bestimmen“) errichtet und deren Betrieb angezeigt. Die Erweiterung der Betriebsfläche innerhalb einer S1- und einer S2-Anlage des ITG wurde angezeigt. Weiterhin werden die bestehenden gentechnischen Anlagen der Sicherheitsstufe 1 des IBG-2 und des IFG (vormals ITC-WGT) seit 2008 als S2-Anlage betrieben (Arbeitstitel „Der Einsatz transgener *Pseudomonas aeruginosa* Stämme zur Untersuchung antimikrobieller Wirkungen ausgewählter Peptidklassen und deren Derivate im Hinblick auf ihren Einsatz zur Behandlung multiresistenter Erreger“). Zur Durchführung dieser S2-Arbeiten erwirkten wir beim Regierungspräsidium Karlsruhe für das IBG-2 eine Genehmigung zum Betrieb einer BSL-2 Anlage gemäß § 44 i.V.m. § 49 IfSG zum Umgang mit infektiösen Erregern. Für das ITG meldeten wir ferner die Durchführung einer weiteren S2-Arbeit an. Mit Inkrafttreten des Vierten Gesetzes zur Änderung des Gentechnikgesetzes vom 01. April 2008 zeigten wir drei weitere S2-Arbeiten beim Regierungspräsidium Tübingen an. Diese stehen im thematischen Kontext der Proteom-Interaktionsanalyse isolierter Gene aus Krankheitserregern und des lentiviralen Gentransfers von Metastase assoziierten Genen zur Expression in Säugerzellen. Aufgrund der Ausweitung der Tätigkeitsfelder im Bereich Gentechnik und der in 2008 in Angriff genommenen Umstrukturierung der Projektleiter-Verantwortlichkeiten wurden in 2008 zahlreiche neue bzw. weitere Projektleiter nach § 15 in den bestehenden gentechnischen Anlagen des Forschungszentrums Karlsruhe bestellt.

Im Bereich Tierschutz beantragten wir für das ITG eine Haltungsgenehmigung für die Spezies Zebrabärbling (*Danio rerio*) und Medaka (*Oryzias latipes*) für das neu errichtete Fischhaus-2. Es wurden darüber hinaus zahlreiche neue Tierversuchsvorhaben an Mäusen und Ratten genehmigt. Diese Versuche stehen im Kontext der Metastaseforschung und –Therapie sowie der Medizinprodukttechnik (§ 7 TierSchG). Gewebeentnahmen nach § 6 TierSchG wurden für zwei weitere Vorhaben angezeigt. Aufgrund der personellen Erweiterung haben wir in 2008 für 16 Personen eine Ausnahmegenehmigung zur Durchführung von tierexperimentellen Eingriffen nach § 9 erwirkt, so dass inzwischen 34 Personen in diesem Bereich tätig sind.

Weitere nicht nukleare genehmigungsrelevante Tätigkeiten des Forschungszentrums beziehen sich auf den Betrieb von Verbrennungsanlagen und die Aktivitäten der meteorologischen Institute. Für die Versuchsverbrennungsanlage THERESA (neuer Name: BRENDA) wurden Änderungen am Dampfkessel und den Brennern beantragt und genehmigt, dem IMK-TRO wurde, inzwischen schon Routine, die Genehmigung zum Aufstieg und zum Abwurf von Radiomesssonden erteilt.

3 Arbeitssicherheit

K. Umstadt

3.1 Organisation und Aufgaben der Gruppe konventionelle Arbeitssicherheit

Hauptaufgabe des Arbeitsschutzes ist es, Gefährdungen und Schädigungen der Beschäftigten vorsorgend zu verhüten, abzuwehren oder soweit wie möglich zu vermindern, mit dem Ziel, Arbeitssicherheit zu erreichen. Dabei stehen im Mittelpunkt Maßnahmen zur Erhöhung der Arbeitssicherheit und zur Verhütung arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren, von Arbeits- und Wegeunfällen sowie von Berufskrankheiten.

Das Forschungszentrum Karlsruhe trägt als Arbeitgeber die Verantwortung für die Sicherheit und den Schutz der Gesundheit seiner Mitarbeiter. Damit obliegt ihm die Führungsaufgabe, gesundheitsbewahrende Arbeitsverhältnisse und sichere Einrichtungen zu schaffen, den bestimmungsgemäßen Umgang mit ihnen und das Zusammenwirken aller Mitarbeiter entsprechend zu organisieren und sicherzustellen. Dieser Aufgabe wird das Forschungszentrum u. a. dadurch gerecht, dass es nach Maßgabe des Arbeitssicherheitsgesetzes Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit bestellt hat.

Die Fachkräfte für Arbeitssicherheit sind in der Stabsstelle „Fachkräfte für Arbeitssicherheit" zusammengefasst und dem Vorstandsbereich V4 unterstellt. Die Fachkräfte haben die Aufgabe, die einzelnen Organisationseinheiten beim Arbeitsschutz, bei der Unfallverhütung und in allen Fragen zur Arbeitssicherheit einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit zu unterstützen. Dazu führen sie regelmäßig Begehungen in den Instituten durch.

3.2 Unfallgeschehen

Nach § 193 des Sozialgesetzbuches VII hat der Unternehmer Unfälle von Versicherten in seinem Unternehmen dem Unfallversicherungsträger anzuzeigen, wenn Versicherte getötet oder so verletzt sind, dass sie mehr als drei Tage arbeitsunfähig werden. Darüber hinaus werden aus grundsätzlichen Erwägungen auch Unfälle von Beschäftigten des Forschungszentrums, bei denen ärztliche Hilfe außerhalb des Zentrums in Anspruch genommen wird, dem zuständigen Unfallversicherungsträger angezeigt.

Für das Jahr 2008 wurden insgesamt 100 Arbeitsunfälle an den Unfallversicherer gemeldet. Davon waren 36 Unfälle anzeigepflichtig (Betriebsunfälle: 21, Wegeunfälle: 10, Sportunfälle: 5).

Einen Überblick über Art der Verletzungen und verletzte Körperteile gibt Tab. 3-1. Ähnlich wie in der gewerblichen Wirtschaft, wo die Zahl der meldepflichtigen Arbeit- und Wegeunfälle im Jahre 2008 leicht gesunken ist, hat sich die Summe der anzeigepflichtigen Unfälle im Forschungszentrum gegenüber dem Vorjahr verringert. Die Gesamtzahl der gemeldeten Unfälle ist dagegen leicht nach oben gegangen. Betrachtet man die anzeigepflichtigen Unfälle differenziert nach Betriebs- und Wegeunfällen, ist festzustellen, dass sich die Anzahl der Betriebsunfälle von 30 im Jahre 2008 auf 21 im Jahre 2008 reduziert hat. Hierbei ist zu vermerken, dass auch die Zahl der meldepflichtigen Unfälle infolge von Verkehrsunfällen auf dem Gelände des Forschungszentrums von 4 Unfällen im letzten Jahr auf einen Unfall zurückgegangen ist.

Die Zahl der Sportunfälle ist im Berichtsjahr 2008 gegenüber dem Vorjahr um 4 Unfälle gestiegen.

Betrachtet man die Unfälle nach der Art der Verletzungen und der verletzten Körperteile, so sind Prellungen, Quetschungen, Knochenbrüche und Schnittverletzungen insbesondere an den Fingern die häufigsten Schäden. Eine Verbesserung der Unfallzahlen hat sich im Bereich der Stolper- und Sturzunfälle ergeben.

Die Zahl der Wegeunfälle ist gegenüber dem Vorjahr gleich geblieben.

Die Wegeunfälle unterscheiden sich in vieler Hinsicht von den Arbeitsunfällen im Betrieb. Da sie auf dem Weg zwischen Wohnung und Arbeitsplatz, also außerhalb des Betriebes geschehen, sind sie den Unfallverhütungsmaßnahmen der Betriebe und der Berufsgenossenschaften auch schwer zugänglich.

verletzte Körperteile	Jahr		Art der Verletzung	Jahr	
	2007	2008		2007	2008
Kopf	9	1	Prellungen, Quetschungen	13	6
Augen	6	0	Verstauchungen	3	2
Rumpf	4	1	Zerrungen, Verrenkungen	6	1
Beine, Knie	17	4	Wunde, Riss	10	2
Füße, Zehen	8	4	Knochenbruch	3	6
Arme	4	2	Verbrennungen, Verätzungen	1	0
Hände, Finger	14	11	Schnitte	8	4
Wirbel	2	0	Sonstige	3	3

Tab. 3-1: Art der Verletzungen und der verletzten Körperteile bei den Betriebsunfällen

Zur Beurteilung des durchschnittlichen Unfallrisikos eines Versicherten müssen die absoluten Unfallzahlen zu geeigneten Bezugsgrößen ins Verhältnis gesetzt und damit Unfallquoten gebildet werden. Bei der Darstellung der Häufigkeit der Arbeitsunfälle je 1 000 Mitarbeiter werden die Unfallzahlen verschiedener Unternehmen vergleichbar. Für das Forschungszentrum mit ca. 3 600 Mitarbeitern ergeben sich die in Tab. 3-2 dargestellten Zahlen.

Art der Unfälle	Zahl der meldepflichtigen Unfälle je 1 000 Beschäftigte	
	Forschungszentrum Karlsruhe 2008	gewerbliche Wirtschaft 2007*
meldepflichtige Betriebs- u. Sportunfälle	7,2	26,8
meldepflichtige Wegeunfälle	2,8	4,1

* Daten von 2008 liegen noch nicht vor.

Tab. 3-2: Unfälle im Forschungszentrum Karlsruhe 2008 im Vergleich zur gesamten gewerblichen Wirtschaft

3.3 Arbeitsplatzüberwachungen

Nach § 5 Arbeitsschutzgesetz hat der Arbeitgeber durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Bei gleichartigen Arbeitsbedingungen ist die Beurteilung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit ausreichend. Eine Gefährdung kann sich insbesondere ergeben durch

- die Gestaltung und die Einrichtung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes
- physikalische, chemische und biologische Einwirkungen

- die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von Arbeitsstoffen, Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit

Die Arbeitsplatzüberwachungen dienen dazu, konkrete Belastungen einzelner Mitarbeiter oder Gruppen zu erfassen und die Einhaltung gesetzlicher Regelungen nachzuweisen. Hierzu ist es notwendig, durch Messungen Ergebnisse zu erhalten, welche die Basis für eventuell durchzuführende Maßnahmen bilden.

Die gebräuchlichsten Messungen (Lärm, Klima, Beleuchtung) werden von Mitarbeitern der Abteilung Überwachung und Messtechnik mit den entsprechenden Messgeräten durchgeführt. Die Anforderung zur Durchführung einer Messung erhalten sie von den Organisationseinheiten oder der zuständigen Fachkraft für Arbeitssicherheit. Das Messergebnis wird von der zuständigen Fachkraft beurteilt. Daraus resultierende Empfehlungen werden dem Institutsleiter mitgeteilt. Die Notwendigkeit der Durchführung von Messungen zur Arbeitsplatzüberwachung wird entweder bei Betriebsbegehungen festgestellt, oder aufgrund von Anfragen der Mitarbeiter oder der Betriebsärzte festgelegt.

Sind spezielle Arbeitsplatzanalysen erforderlich, so werden amtlich anerkannte Messstellen oder unsere Unfallkasse mit der Durchführung beauftragt.

Im Rahmen einer Projektarbeit eines BA-Studenten wurde ein Lärmkataster für die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe gemäß der Lärm-Vibrations-Arbeitsschutzverordnung erstellt. Hierbei wurden die lärmintensiven Arbeitsplätze einer gesonderten Gefährdungsbeurteilung unterzogen. Die Ermittlung der tatsächlichen Expositionswerte erfolgte durch Lärmpegelmessungen und entsprechende Berechnungen.

Eine zweite Projektarbeit beschäftigte sich mit dem Problem der Vibrationen. Hierbei wurden Arbeitsplätze mit möglichen Vibrationsbelastungen einer speziellen Gefährdungsbeurteilung unterzogen. Auf Grund der Ergebnisse dieser Gefährdungsbeurteilungen wurde ein Vibrationskataster für das gesamte Forschungszentrum erstellt.

3.4 Arbeitsschutzausschuss

Nach § 11 des Arbeitssicherheitsgesetzes hat das Forschungszentrum als Arbeitgeber einen Arbeitsschutzausschuss (ASA) zu bilden. Die personelle Zusammensetzung und die Aufgaben des Arbeitsschutzausschusses sind im Arbeitssicherheitsgesetz geregelt. Neben den ständigen Tagesordnungspunkten wie Berichte der Betriebsärzte und der Fachkräfte für Arbeitssicherheit wurden sicherheitsrelevante Arbeitsunfälle besprochen. Weitere Schwerpunkte während des Berichtszeitraumes waren:

- Innerbetrieblicher Straßenverkehr
- Auf Grund gehäufter Fahrradunfälle bzw. Beinaheunfälle bedingt durch mangelnde Bremswirkung der Vorderradbremsen an Dienstfahrrädern, trat die Frage auf, ob die ca. 1000 Dienstfahrräder des Zentrums noch den Vorschriften entsprechen und ob die Fahrräder in regelmäßigen Abständen (z. B. alle 2 Jahre) geprüft werden sollten. Hierzu wurde dem Vorstand eine entsprechende Empfehlung gegeben.
- Helmpflicht bei der Nutzung von Dienstfahrrädern
- Auf Grund mehrere Unfälle mit Dienstfahrrädern und gestützt durch eine Aussage der berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit und Gesundheit, wonach für den innerbetrieblichen Werksverkehr mit Dienstfahrrädern geeigneter Kopfschutz zur Verfügung zu stellen ist, empfahl der ASA dem Vorstand zukünftig Dienstfahrräder nur noch mit einem entsprechenden Helm auszugeben und die Beschäftigten darauf hinzuweisen, dass dieser Helm getragen werden sollte.
- Aktion „Mit dem Rad zur Arbeit“

- In Zusammenarbeit mit MED, der Stabsstelle Fachkräfte für Arbeitssicherheit, dem Betriebsrat und der Krankenkassen wurde eine Aktion „Mit dem Rad zu Arbeit“ erfolgreich durchgeführt. Hierbei hatten die Beschäftigten des Zentrums und der Uni Karlsruhe Gelegenheit, sich über das richtige Verhalten beim Radfahren zu informieren und ihre Fahrräder sicherheitstechnisch überprüfen zu lassen.

3.5 Umgang mit Gefahrstoffen

K. Dettmer, P. Kraft

Aufgrund der Verwendung von Gefahrstoffen sind im Forschungszentrum eine Vielzahl chemikalienrechtlicher Unternehmerpflichten zu erfüllen. Hierbei übernimmt die HS einige zentrale Aufgaben. Sie betreffen beispielsweise die Information der Beschäftigten über gefährliche Eigenschaften von Stoffen und die daraus resultierenden Schutzmaßnahmen sowie die Führung und Administration des vorgeschriebenen Gefahrstoffverzeichnisses für das gesamte Unternehmen.

Die Realisierung des Gefahrstoffverzeichnisses erfolgt im Forschungszentrum mit Hilfe eines zentralen Datenbankprogramms, das von allen Organisationseinheiten über das Intranet bedient werden kann. Es unterstützt die Beschäftigten bei der Bestandsführung und nutzt alle Daten, die bei der Bestellung von Gefahrstoffen ohnehin benötigt werden, um daraus mit möglichst geringem zusätzlichem Aufwand das Verzeichnis aufzubauen. Das Programm mit dem Namen ChemieAssistent (abgekürzt: ChemA, vergl. Abb. 3-1) bietet die Möglichkeit, Gefahrstoffe direkt im Rahmen der Beschaffung zu registrieren. Bestellte Stoffe werden datentechnisch mit Informationen über ihre gefährlichen Eigenschaften sowie mit Angaben über den Ort ihrer Lagerung oder Handhabung verknüpft.

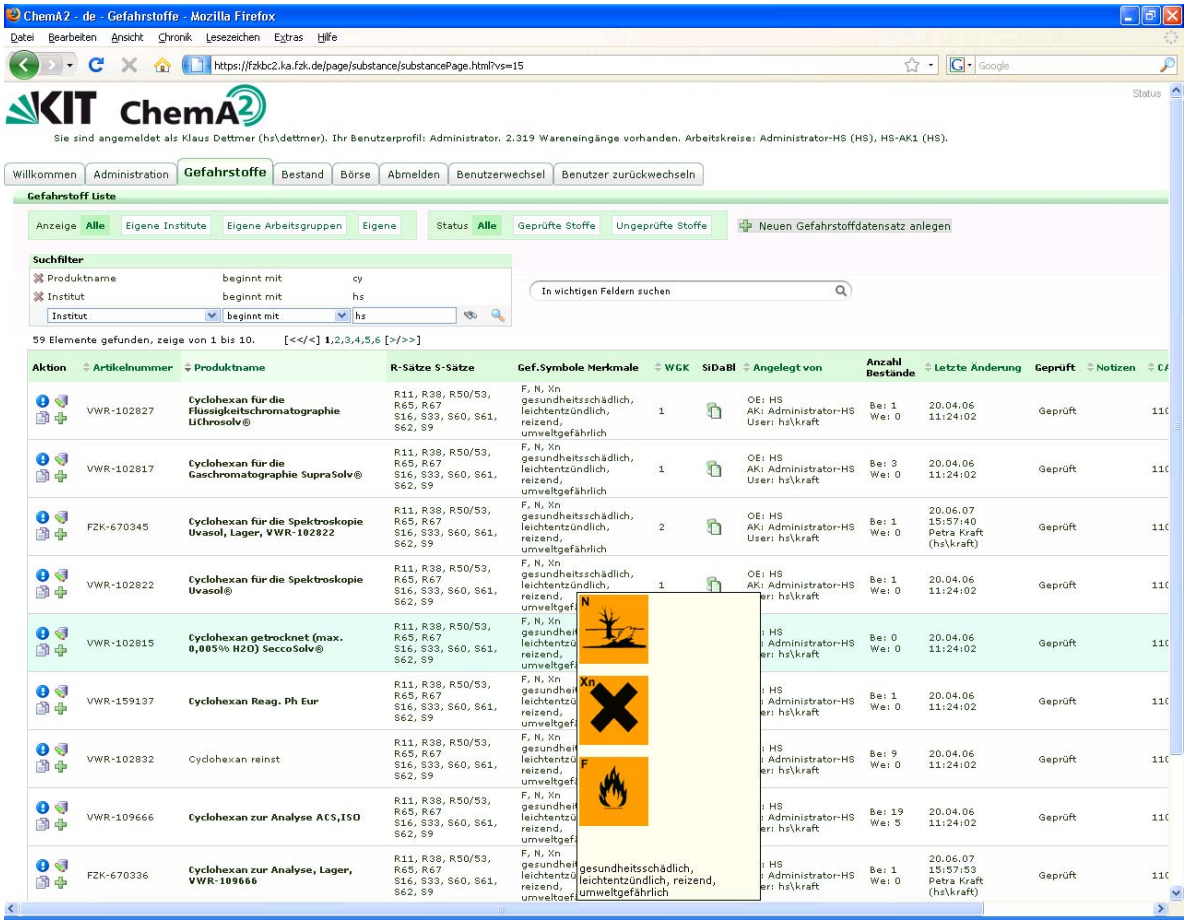


Abb. 3-1: Der ChemieAssistent, das Gefahrstoffverzeichnis des Forschungszentrums – intuitiv nutzbare Bedienoberfläche – Die neue Version ab dem Jahr 2009

Das Datenbankprogramm arbeitet direkt mit dem im Bestellwesen des Forschungszentrums verwendeten Katalogsystem, dem Supplier Relationship Management (SRM) zusammen, das auf der Plattform SAP R/3 aufsetzt. Der Vorteil dieses Bestellsystems besteht darin, dass eine Bestellung dezentral ausgelöst und das benötigte Produkt direkt im Katalog des Lieferanten selektiert werden kann. Im Hinblick auf die Realisation des Gefahrstoffverzeichnisses bedeutet dies, dass eine Vielzahl von Stoffen durch die Selektion im Katalog eindeutig identifiziert ist und sich unmittelbar beim Bestellvorgang mit den erforderlichen Sicherheitsdaten elektronisch verbinden lässt. Die Stoffinformationen können sowohl bei der Bestellung, als auch zu jedem späteren Zeitpunkt datentechnisch mit der Information über den Verwendungsort des Gefahrstoffs verknüpft werden.

Die Sicherheitsdatenblätter sowie ausgewählte einzelne Sicherheitsdatenfelder für den Aufbau des Gefahrstoffverzeichnisses führt die HS ebenfalls in der Datenbank. Der Datenpool speist sich aus den Informationen der Hersteller und Vertreiber der eingekauften Stoffe und wird ständig aktualisiert und erweitert. Er enthält mehr als 16 000 Datensätze. Sämtliche Daten einschließlich eingescannter Original-Sicherheitsdatenblätter lassen sich über das Intranet des Forschungszentrums zentral und von jedem Institut aus zur allgemeinen Information sowie zur Erstellung von gefahrstoff- und arbeitsplatzbezogenen Betriebsanweisungen abrufen. Da ein Großteil der Sicherheitsdaten direkt vom Hauptlieferanten für das Forschungszentrum übernommen werden kann, konzentriert sich die von HS zu leistende Aktualisierungsarbeit auf die Datensätze, die für die vorhandenen und neu bestellten Stoffe anderer Hersteller erforderlich sind. Sie lassen sich auf diese Weise mit angemessenem Aufwand zuverlässig aktuell halten.

Neben der Übernahme relevanter Daten im Rahmen von Neubestellungen unterstützt das Datenbanksystem ChemA die dezentrale Erfassung der vorhandenen Gefahrstoffe und bietet auch eine zentrumsweite Chemikalienbörse. Hier können auf dem Zentrumsgelände vorhandene Bestände von autorisierten, im System eingetragenen Personen recherchiert werden. Ein kurzfristiger Bedarf an bestimmten Stoffen lässt sich mit Hilfe des Systems in zahlreichen Fällen einfach und kostenneutral aus dem Bestand einer anderen Organisationseinheit decken.

Im Berichtsjahr waren mehr als 600 Nutzende in den für das Gefahrstoffverzeichnis relevanten Organisationseinheiten im System registriert. Mehr als 20 000 Bestandspositionen gaben Aufschluss über die Lagerungs- und Verwendungsorte der Chemikalien. Die vorhandenen Gefährdungspotentiale können von unterschiedlichen Stellen der Sicherheitsorganisation (Arbeitssicherheit, Werkfeuerwehr, Arbeitsmedizin) eingesehen und ausgewertet werden.

Das Gefahrstoffverzeichnis wurde im Berichtsjahr hinsichtlich verbesserter Eingabe- und Administrationsmöglichkeiten weiterentwickelt. Außerdem soll das Programm zukünftig direkt mit dem Betriebsanweisungsmodul der BG-Chemie zusammenarbeiten und die erforderlichen Daten zur Erstellung von Betriebsanweisungen austauschen. Die Inbetriebnahme der neuen Version ist zu Beginn des Jahres 2009 vorgesehen.

Im Rahmen der Administration des Gefahrstoffverzeichnisses wurde auch die Erstellung von Gebindekennzeichnungen für den Umgang (Gefahrstoffetiketten) sowie von schriftlichen Weisungen für Fahrzeugführer beim Gefahrguttransport (Unfallmerkblätter) als zentrale Dienstleistung angeboten.

3.6 Wiederkehrende Prüfungen

K. Dettmer

Um die technische Betriebssicherheit zu gewährleisten, müssen eine Vielzahl von Anlagen, Anlagenteilen, Maschinen, Betriebsmitteln und Gegenständen in regelmäßigen Zeitintervallen wiederkehrend geprüft werden. Das Prüferfordernis kann sich beispielsweise aus Rechtsnormen, Unfallverhütungsvorschriften oder auch unmittelbar aus Genehmigungsauflagen ergeben. Durch die Betriebssicherheitsverordnung eröffnet sich zudem die Möglichkeit, dass Intervalle für wie-

derkehrende Prüfungen teilweise im Rahmen von Gefährdungsanalysen vom Betreiber selbst festgelegt werden.

Wiederkehrende Prüfungen erfolgen in allen Organisationseinheiten des Zentrums. Von den zentralen Aufgaben übernimmt der Bereich Technische Infrastruktur die Datenhaltung zu den wiederkehrend prüfpflichtigen Objekten sowie die Terminsteuerung der Prüfungen. Die Kontrolle sowie das Mahnwesen obliegt der Hauptabteilung Sicherheit. Die Daten zur Identifikation der Prüfobjekte und zum Anstoß der Prüfungen werden in dem SAP-Modul RM-INST geführt, das auch für die Steuerung der Wartung und Instandhaltung infrastruktureller Anlagen zum Einsatz kommt.

Das Datenbank-System sichert die Einhaltung der vorgeschriebenen Prüfintervalle sowie die Terminsteuerung und erleichtert die Nachweisführung gegenüber den Behörden. Zur Terminierung und Dokumentation der Prüfungen werden Prüfnachweise erstellt und an die verantwortlichen Organisationseinheiten gesendet. Diese erhalten außerdem jährlich Prüfkalender und werden bei Bedarf monatlich auf überfällige Prüftermine hingewiesen.

In der Abb. 3-2 sind die Aufgabenverteilung sowie der Informationsfluss bei der Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen dargestellt.

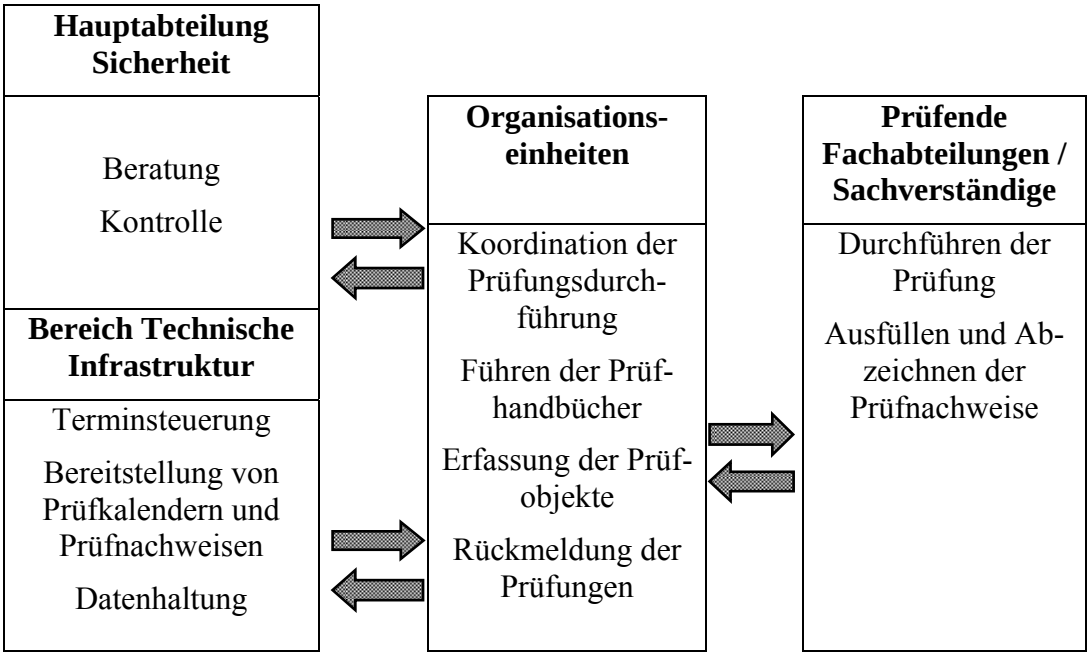


Abb. 3-2: Wiederkehrende Prüfungen – Aufgabenverteilung und Informationsfluss

Zusätzlich zu den Dokumenten, die mit Hilfe des Systems in Papierform erstellt und über den Postweg verteilt werden können, bestehen eine Vielzahl von direkten Auswertungsmöglichkeiten der Datenbank auf elektronischem Wege. Diese Dienste lassen sich dezentral nutzen und ermöglichen Personen, die in den Organisationseinheiten für die Wiederkehrenden Prüfungen zuständig sind, eine schnelle und zuverlässige Information über anstehende Prüftermine.

Im Berichtsjahr konnte der Routinebetrieb des Systems ohne wesentliche Probleme aufrechterhalten werden.

4 Biologische Sicherheitsbereiche

E. Wittekindt

Institute in denen biologische Sicherheitsbereiche betrieben werden oder geplant sind, werden hinsichtlich der Erfüllung gesetzlicher Voraussetzungen und Aufgaben von der Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung „Technisch administrative Beratung und Genehmigungen“ unterstützt. HS-TBG nimmt zur Umsetzung der Rechtsvorschriften abteilungsübergreifende Querschnitts- und Beratungsaufgaben wahr, beispielsweise für den Betrieb gentechnischer Anlagen, Tierhaltungsanlagen und Infektionsschutz-Laboratorien (BSL-2) und ist hier zentraler Ansprechpartner für die zuständigen Genehmigungs- und Überwachungsbehörden.

4.1 Gentechnische Anlagen

4.1.1 Beratung und Organisation, Anzeige und Anmeldung von gentechnischen Anlagen und Arbeiten (Gentechnikrecht)

Das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH erfüllt als Inhaber von mittlerweile fünfzehn gentechnischen Anlagen verschiedene Betreiberpflichten. Sicherheitsaufgaben ergeben sich auf Grundlage des Gentechnikgesetzes (GenTG), der Gentechniksicherheitsverordnung (GenTSV) und der Gentechnikaufzeichnungsverordnung (GenTAufzV). Ferner sind die technischen Regelwerke sowie berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit zu berücksichtigen.

HS-TBG berät und unterstützt die OE bei der langfristigen Sicherstellung gesetzlicher Anforderungen, im Hinblick auf die Erfüllung behördlicher Vorgaben und bei der Planung, Anzeige und Anmeldung neuer gentechnischer Anlagen und wickelt die formalen Anmelde- und Anzeigeverfahren ab (siehe Kap 2).

Mit der Novellierung des Gentechnikgesetzes vom 01.04.2008 haben sich Änderungen im Gentechnikrecht ergeben. So sind neue S1-Anlagen vom Betreiber jetzt schriftlich anzuzeigen. Die Errichtung und der Betrieb gentechnischer Anlagen, in denen gentechnische Arbeiten der Sicherheitsstufe 2 durchgeführt werden sollen, sowie die vorgesehenen erstmaligen S2-Arbeiten sind - wie bisher - anzumelden. Die Anmeldung weiterer gentechnischer Arbeiten der Sicherheitsstufe 2 entfällt, diese sind nun mit den entsprechenden (umfangreichen) Unterlagen beim Regierungspräsidium Tübingen anzuzeigen. Für Anzeigeverfahren entfallen die bisherigen Wartefristen, d.h. mit den gentechnischen Arbeiten kann sofort nach Eingang der Anzeige beim Regierungspräsidium begonnen werden (§ 12 Abs. 5a GenTG; BGBl I S. 499 vom 05. April 2008). Das Anzeigeverfahren entbindet den Betreiber jedoch nicht von der Informationspflicht zur gentechnischen Arbeit und zu den technischen und personellen Voraussetzungen sowie zur Darlegung der Betriebsorganisation. Es wird in erster Linie das behördliche Verfahren zum Beginn der gentechnischen Arbeiten beschleunigt.

HS-TBG wird in der Regel schon während der Planungsphase zur Errichtung neuer gentechnischer Anlagen eingebunden, um Baumaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen für die jeweiligen Anlagen abzustimmen. So werden Querschnittsaufgaben in Zusammenarbeit mit der betroffenen OE und weiteren Fachabteilungen und Stabsstellen des Forschungszentrums wahrgenommen und koordiniert. Die erforderlichen administrativen Abläufe zur Anzeige (S1) bzw. Anmeldung (S2) neuer gentechnischer Anlagen und für geplante Erweiterungen der bestehenden Anlagen erfolgen in Abstimmung mit den jeweiligen Projektleitern und Beauftragten für die Biologische Sicherheit grundsätzlich über HS-TBG.

Außerdem führt HS-TBG für den Betreiber die Bestellung der „Beauftragten für die Biologische Sicherheit“ (BBS) und der „Projektleiter“ (PL) der jeweiligen gentechnischen Anlagen bzw. Teilbereiche durch und dokumentiert zentral die vom Verordnungsgeber geforderten Aufzeichnungen der gentechnischen Arbeiten (Kap. 4.1.3).

In 2008 wurden in Zusammenarbeit mit der Rechtsabteilung des Forschungszentrums und dem Regierungspräsidiums Tübingen Fragen zu Verantwortung und Haftung des Projektleiters aufgrund des neuen Gentechnikrechts geklärt. Danach sind Verantwortungsbereiche und Pflichten des Projektleiters hinsichtlich Unterweisung und Dokumentation gemäß § 6 Abs. 1 GenTG in der Bestellurkunde eindeutig zu definieren und von denen des Betreibers abzugrenzen. Weiterhin sind im Einzelfall die räumliche Zuständigkeit der Projektleiter innerhalb einer Anlage von denen weiterer bestellter Projektleiter abzugrenzen. Für den Betreibervertreter HS-TBG bedeutete dies eine umfangreiche organisatorische Umstrukturierung, da nunmehr mehrere Projektleiter in einer gentechnischen Anlage tätig sind und die räumlichen Verantwortlichkeiten sowie die projektspezifischen gentechnischen Arbeiten neu zuzuordnen und abzugrenzen waren.

Im Rahmen der Neubestellung von Projektleitern wurden in 2008 erstmals wissenschaftliche Mitarbeiter der Universität Karlsruhe bestellt. Hierzu war es erforderlich, eine vertragliche Regelung der Vorstände zur Übertragung des fachlichen Weisungsrechts zwischen der Universität und dem Forschungszentrum für den jeweiligen Mitarbeiter zu treffen.

Sowohl der Projektleiter, als auch der BBS haben den Betreiber bei der Umsetzung genrechtlicher Vorgaben und behördlich angeordneter Maßnahmen (z. B. in Bezug auf Mitteilungspflichten gemäß § 21 Abs. 2 und 3 GenTG) zu unterstützen.

Gemäß § 8 (GenTSV) hat der Betreiber gentechnischer Anlagen die nach dem Stand der Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorgemaßnahmen zu treffen, um eine Exposition der Beschäftigten und der Umwelt gegenüber dem gentechnisch veränderten Organismus (GVO) so gering wie möglich zu halten. Grundsätzlich sind individuelle Schutzmaßnahmen den technischen Maßnahmen nachgeordnet (Sicherheitswerkbank vor Mundschutz).

HS-TBG unterstützt die OE bei der Anfertigung von Gefährdungsbeurteilungen und Risikobewertungen bzw. bei der Anpassung von Betriebsanweisungen und Hygieneplänen sowie bei der Beschaffung von Schutzausrüstungen. Es finden ferner Beratungen zu Fragen zur Gerätewartung statt.

4.1.2 Begehungen und Sicherheitsunterweisungen in gentechnischen Anlagen

Auf der Grundlage gesetzlicher Vorgaben führt HS-TBG routinemäßig Arbeitsstättenbegehungen in Laboren mit biologischer Sicherheitseinstufung durch, teilweise auch zur Vorbereitung von Aufsichtsbesuchen und unter Einbeziehung von StFA, MED und BR.

In den gentechnischen Anlagen des Forschungszentrums wurden in 2008 zwölf Begehungen durchgeführt. Diese dienten der routinemäßigen internen Überprüfung der Organisationsabläufe und des technischen Sicherheitsstandards. Weiterhin fanden Begehungen in Vorbereitung zur Anzeige von zwei neuen gentechnischen Anlagen (S1), den Erweiterungen von drei S1-Anlagen sowie zur Anmeldung bzw. Anzeige von vier weiteren S2-Arbeiten statt. Ferner wurden zwei ehemalige S1-Anlagen des Forschungszentrums zur Durchführung von S2-Arbeiten (Anmeldung von S2-Anlagen) umgerüstet.

Diese Anlagen (z. B. Fischhaus-2) wiesen nach der jeweiligen Umbauphase einen guten bis sehr guten technischen Standard auf. Organisation und Arbeitsweise entsprachen den rechtlichen Anforderungen.

In 2008 besichtigten das RP Tübingen und des RP Karlsruhe die erweiterten Bereiche (diverse neue S1-, S2- und BSL-2 Anlagen). Die Behörden bestätigten den ordnungsgemäßen Betrieb der gentechnischen Anlagen. Vereinzelt wurden jedoch Rissbildungen in Wänden bemängelt, die wahrscheinlich aufgrund erhöhter Bautätigkeit in der Umgebung der Anlagen entstanden waren.

Für die Mitarbeiter von gentechnischen Anlagen der Sicherheitsstufen S1 und S2 führte HS-TBG in Zusammenarbeit mit den Projektleitern Sicherheitsunterweisungen gem. § 12 Abs. 3 der GenTSV durch. Von Seiten HS-TBG standen die Beiträge im Kontext der „Umsetzung des Gen-

technikrechts“ sowie der „Allgemeine Sicherheitsvorschriften in biologischen Sicherheitsbereichen“. Neben den routinemäßigen jährlichen Mitarbeiterunterweisungen beteiligte sich HS-TBG in Einzelfällen auch an den Unterweisungen neu eingestellter Institutsmitarbeiter und an der Einweisung von Fremdfirmenpersonal im Hinblick auf die spezifischen Bedingungen am Arbeitsplatz, insbesondere der Reinigungskräfte für die Laborreinigung und zur desinfizierenden Reinigung von offenen Deckenelementen.

Der FTU-Kurs „U380 – Projektleiter und Beauftragter für die biologische Sicherheit“ vom September 2008 wurde von Seiten HS-TBG mit einem Beitrag zur praktischen Umsetzung des Gentechnikrechts unterstützt.

4.1.3 Dokumentations- und Berichtspflichten in gentechnischen Anlagen

4.1.3.1 Aufzeichnungen nach Gentechnik-Aufzeichnungsverordnung (GenTAufzV)

Der Betreiber gentechnischer Anlagen ist verpflichtet, Aufzeichnungen über gentechnische Arbeiten vollständig und zeitnah zu führen und diese der zuständigen Behörde auf ihr Ersuchen vorzulegen. Allgemein gültige Regeln zur Anfertigung der Aufzeichnungen sind in der Gentechnikaufzeichnungsverordnung (GenTAufzV) festgelegt.

Da das Forschungszentrum sehr heterogene Arbeitsschwerpunkte verfolgt und die gentechnischen Arbeiten komplex vernetzt sein können, ist die klare Abgrenzung einer S1-Arbeit zu einer gentechnischen Anlage mitunter recht schwierig, da auch Anlagen übergreifend gearbeitet wird.

Die Verantwortung bezüglich der Dokumentationspflichten obliegt sowohl dem Projektleiter einer gentechnischen Anlage, als auch dem Betreiber, das heißt, dem Forschungszentrum Karlsruhe GmbH als juristischer Person.

Zur Sicherstellung der Aufzeichnungspflichten verfolgt HS-TBG für den Betreiber die Umsetzung der GenTAufzV in den einzelnen gentechnischen Anlagen. In diesem Rahmen werden Beratungen der Projektleiter und wissenschaftlichen Mitarbeiter durchgeführt, insbesondere im Hinblick auf die Risikobewertung weiterer gentechnischer S1-Arbeiten gemäß § 6 GenTG i.V.m. Anhang I der GenTSV. Der routinemäßige Abgleich und ggf. die Fortschreibung bereits angefertigter Aufzeichnungen sowie eine laufende zentrale Ablage erfolgen von Seiten HS-TBG.

Die Aufzeichnungsunterlagen werden hierzu von den Verantwortlichen der gentechnischen Anlagen zeitnah angefertigt. Dies wurde bei einer Stichprobenüberprüfung der Aufzeichnungen im Februar 2008 vom Regierungspräsidium Tübingen erneut bestätigt. Gentechnische Aufzeichnungen müssen über einen Zeitraum von 10 Jahren (S1) bzw. 30 Jahren (S2) nach Abschluss der jeweiligen gentechnischen Arbeit aufbewahrt werden. Eine entsprechende Registratur wurde in HS-TBG eingerichtet. Die seit 2004 erstellten Aufzeichnungsdokumente liegen in elektronischer Form und als Akte vor. HS-TBG führte in 2008 eine neue Software zum Anfertigen zur Unterstützung im Hinblick auf die zentrale Erfassung der Aufzeichnungsunterlagen ein.

4.1.3.2 Einführung einer Software für Dokumentationspflichten nach GenTAufzV

Im November 2008 wurde bei HS-TBG der „GenTech Explorer“, eine Browser-basierte Anwendung zur Anfertigung und Betreuung gentechnischer Aufzeichnungen, in Betrieb genommen.

Der Auftrag zur Entwicklung dieser Software wurde in 2008 erteilt und das System von der Firma Strack IT Solutions GmbH mit Unterstützung durch HS-TBG nach den Anforderungen der Gentechnikbehörde sowie unter Berücksichtigung der Anforderungen des Forschungszentrums entwickelt.

Der GenTech Explorer ermöglicht eine Anwendung über den Mozilla Firefox-Browser und kann auf der Intranet-Plattform auch von Macintosh-Rechnern aus bedient werden. Die Rechteverwaltung des GenTech Explorers ermöglicht die Zuweisung spezifischer Nutzerrechte für verantwort-

liche Administratoren, Projektleiter, BBS und Mitarbeiter. Das System erleichtert die Erfassung gentechnischer Aufzeichnungen wesentlich aufgrund des dezentralen Zugriffs, der übersichtlichen Anlagenhierarchie sowie integrierter Eingabehilfen zum Aufzeichnen, wie automatischen Katalogen und dem Zugriff auf ZKBS-Listen zur Risikogruppen-Zuordnung von Spendern- und Empfängerorganismen und Vektoren (ZKBS - Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit ist beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit angesiedelt).

Im Dezember 2008 fanden die Schulungen des Systemadministrators (HS-ZA) und des Betreibervertreters (HS-TBG als Nutzer mit Administratorrechten) statt. Im Rahmen einer ersten Einführungsveranstaltung für die Verantwortlichen und Mitarbeiter (Nutzer) gentechnischer Anlagen wurde die Funktionsweise der Software vermittelt.

Der GenTech Explorer wird in 2009 in der Praxis erprobt und dann eingesetzt. Es ist geplant, nach der KIT-Fusion auch den Campus Süd einzubeziehen.

4.2 Tierhaltungsanlagen

4.2.1 Beratung und Organisation, Genehmigungen (Tierschutzrecht)

Die auf dem Gelände des Forschungszentrums befindlichen Tierhaltungsanlagen werden parallel als gentechnische Anlagen der Sicherheitsstufe 1 betrieben. Darum sind sowohl die Vorgaben des TierSchG als auch die des GenTG einzuhalten. Der Eintrag von Zoonosen und Infektionserregern in die Tierhaltung wird im SPF-Bereich („**s**pecific-**p**athogen **f**ree“; bezeichnet einen Bereich mit besonders hohem Hygienestatus) weitgehend verhindert. Auch in den Fischhäusern-1 und -2 sorgen Vorkehrungen gemäß Betriebsanweisungen und spezielle Hygienepläne für eine möglichst keimarme Umgebung. Zur Entsorgung von Tierkörpern und Exkrementen werden die Anforderung gemäß GenTSV und BioStoffV routinemäßig überwacht.

In 2008 fand ein Wechsel in der Leitung der Tierhaltungen für Nager und Fische statt. Hierzu wurden die Neuorganisationen der Zuständigkeiten gemäß § 11 des Tierschutzgesetzes (Tierhaltung und –zucht), Bestellung eines weiteren Tierschutzbeauftragten sowie der Wechsel der Versuchsleiter/innen für die laufenden, bereits genehmigten Tierversuchsvorhaben notwendig. Ferner wurden in 2008 vier neue Versuchsvorhaben genehmigt und zwei Vorhaben angezeigt. Für weitere Personen wurden Ausnahmegenehmigungen nach § 9 Abs.1 Satz 1 und Satz 4 des TierSchG zur Durchführung von Tierexperimenten erwirkt (siehe Kap. 2).

4.2.2 Dokumentations- und Berichtspflichten gemäß TierSchG

Die Zahl der pro Jahr durchgeführten Versuchsvorhaben sowie bei Wirbeltieren Art und Zahl der insgesamt verwendeten Tiere sind der zuständigen Aufsichtsbehörde gemäß Versuchstiermeldeverordnung (VTMVO) unter Beachtung entsprechender Richtlinien anzuzeigen. Die Meldungen sind jährlich fristgerecht bis zum 31. März des Folgejahres in elektronischer Form gemäß dem Vorgabedokument „Meldung zu Versuchszwecken“ des Regierungspräsidiums Karlsruhe zu erstatten. HS-TBG unterstützt den Tierschutzbeauftragten und die Leitung der Tierhaltungseinrichtung des Forschungszentrums bei der Erstellung der Versuchstiermeldungen und übermittelt diese an die zuständigen Aufsichtsbehörden (Regierungspräsidium und Landratsamt Karlsruhe). In der Abb. 3-1 sind die jährlichen Gesamtzahlen verwendeter Versuchstiere für den Zeitraum 2001 – 2008 dargestellt. Diese setzen sich zusammensetzen aus der Anzahl der zu wissenschaftlichen Zwecken getöteten Tiere, sowie der in den Versuchen anzeigepflichtiger und genehmigungspflichtiger Vorhaben verwendeten Tiere (§ 4, § 6 und § 7 TierSchG).

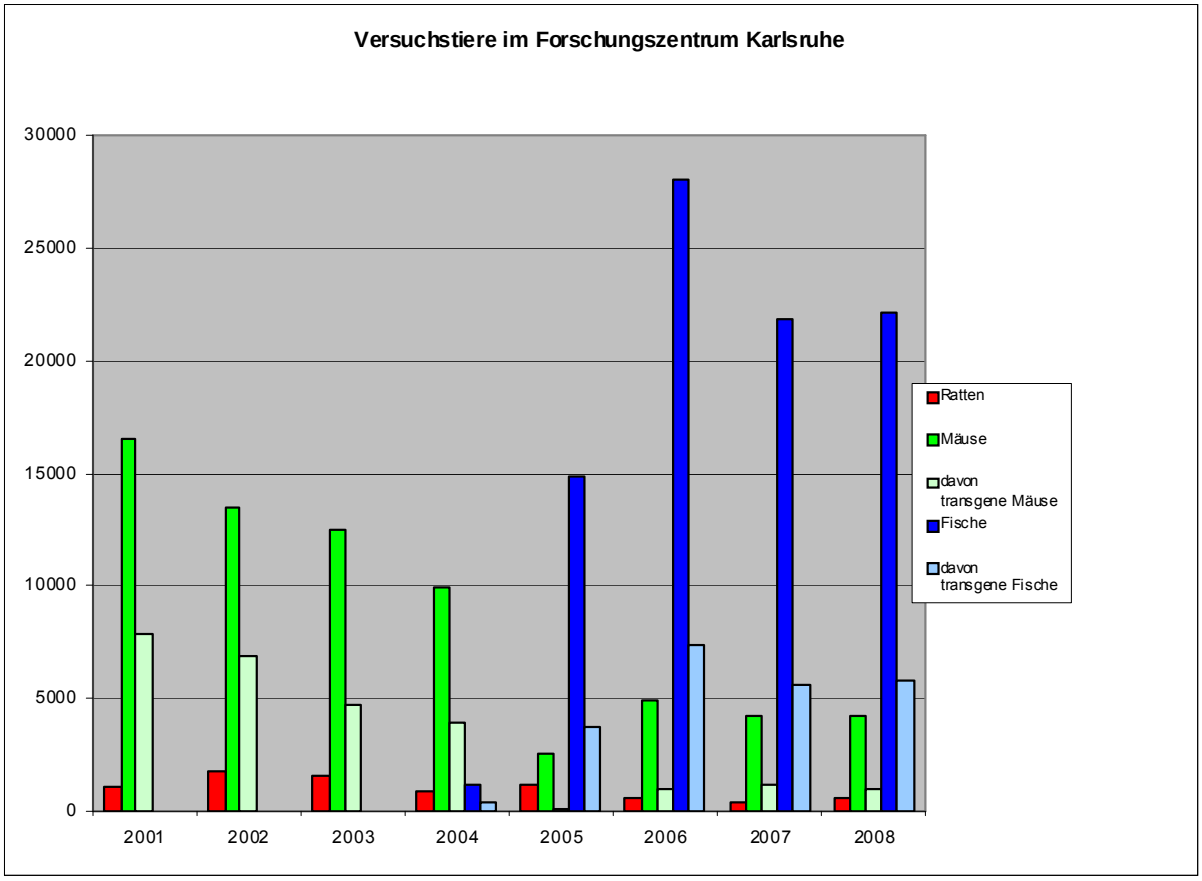


Abb. 4-1: Versuchstierzahlen im Forschungszentrum Karlsruhe

4.2.3 Mitarbeit in der Tierschutz-Ethikkommission des RP Karlsruhe

Mit der 8. Berufungsperiode zur Wahl der Kommission zur Unterstützung der Tierschutzbehörde bei der Entscheidung über die Genehmigung von Tierversuchen (Tierschutz-Ethik-Kommission) ist HS-TBG mit einem stellvertretenden Mitglied beim Regierungspräsidium Karlsruhe vertreten. Die Kommission setzt sich aus acht ordentlichen Mitgliedern und 11 Stellvertretern zusammen. Sie bewertet jeweils die beim Regierungspräsidium Karlsruhe innerhalb eines Monats eingegangenen Anträge auf Genehmigung von Tierversuchen und entscheidet im Rahmen der Monatssitzungen über deren Bewilligung bzw. Ablehnung. Als stellvertretendes Mitglied nahm HS-TBG diese Aufgabe auf Ersuchen der Behörde im Mai 2008 wahr und nahm am Colloquium zur Tagung der Tierschutz-Ethik-Kommission im Dezember 2008 teil, das am Zentrum für Medizinische Forschung (Universitätsklinikum Mannheim) durchgeführt wurde.

4.3 Arbeiten mit infektiösen Materialien und Infektionsschutz

In 2008 wurde ein weiterer Laborkomplex gemäß der „Richtlinien der Regierungspräsidien und des Landesgesundheitsamtes BW für wissenschaftliche und Medizinisch-diagnostische Laboratorien“ in Betrieb genommen. HS-TBG hat die Umsetzung gesetzlicher Vorgaben betreut, sodass die Anlage im 2. Quartal 2008 genehmigt werden konnte.

Damit betreibt das Forschungszentrum drei BSL-2 Anlagen mit Erlaubnis zum Umgang mit Krankheitserregern gem. § 44 i. V. m. § 49 des Infektionsschutzgesetzes (IfSG).

Im Rahmen des Umgangs mit Krankheitserregern (Bakterien und Pilze der Risikogruppe 2) wurde das Erregerspektrum in den Anlagen kontinuierlich erweitert (Antrag gemäß § 44 IfSG).

Für die BSL-2-Arbeiten sind fünf Projektleiter mit § 44-Erlaubnis zum Umgang mit Krankheitserregern in diversen Projekten verantwortlich. Für diese Personen wurde inzwischen der Um-

gang mit dem Gesamtspektrum der RG 2-Organismen erwirkt, so dass künftig keine Einzelanträge zur Erweiterung des Erregerspektrums für die OE mehr gestellt werden müssen. Die praktischen Sicherheitsvorgaben zum Umgang mit den jeweiligen Krankheitserregern werden in Abstimmung mit der medizinischen Abteilung für den Einzelfall definiert. Die Anpassung der Betriebsanweisungen und Hygienepläne erfolgt auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung.

Die BSL-2-Anlagen werden parallel als Gentechnikbereich der Sicherheitsstufe S1- bzw. S2 betrieben. In verschiedenen OE wurden im Rahmen der Mitarbeiterunterweisungen von HS-TBG die Spezialthemen zum Infektionsschutz „Hygienemaßnahmen, angepasste Verfahren zur Sterilisation und Desinfektion“ sowie „Vermeidung von Kontaminationen in Bakterien-, Zell- und Gewebekulturen“ und „Die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen für biologische Arbeitsstoffe nach BioStoffV“ behandelt.

Im Rahmen der administrativen Aufgaben nahm HS-TBG in BSL-2-Anlagen auch diverse Aufgaben zur Durchführung der Biostoffverordnung (BioStoffV) wahr. Hierzu ging eine Anzeige gemäß § 13 BioStoffV an die zuständige Gewerbeaufsicht beim Regierungspräsidium Karlsruhe, in der wir Art und Umfang der Arbeiten, Baupläne und Sicherheitstechnik sowie Gefährdungsbeurteilungen zum Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen darlegten.

Des weiteren wurden die BSL-2-Anlagen nach dem Tierseuchengesetz und der Tierseuchenerregerverordnung angezeigt.

Anlässlich der Ausweitung der BSL-2-Bereiche am Forschungszentrum erhielten wir von Seiten des Regierungspräsidiums Karlsruhe (Ref. 24, Überwachungsbehörde für den Infektionsschutz) die Auflage, in der Wäscherei (BTI-V-WR) eine Erfolgskontrolle für das eingesetzte desinfizierende Waschverfahren durchzuführen. Das Ozonit-Reinigungsverfahren ist bereits vom Robert-Koch-Institut anerkannt worden. HS-TBG veranlasste eine Überprüfung vor Ort mittels Indikatorproben (der Bakterienspezies *Staphylococcus aureus* und dem hitzestabilen Virus *Enterococcus faecium;* Risikogruppe RG 2). Die Auswertung der mitgewaschenen Indikatorproben nahm das Forschungsinstitut Hohenstein, Institut für Hygiene und Biotechnologie vor, das dem Forschungszentrum den ordnungsgemäße Betrieb der Wäscherei im Hinblick auf das desinfizierende Waschverfahren bestätigte. Diese Überprüfung wird künftig in 2-jährigen Intervallen bzw. bei Wechsel des Waschmittels wiederholt. Die bestehende zentrumsweit verbindliche Vereinbarung zur Handhabung und Reinigung der Wäsche aus Infektionsschutzbereichen wurde entsprechend aktualisiert.

5 Strahlenschutz

5.1 Strahlenschutzorganisation im Forschungszentrum

Das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH ist als juristische Person Inhaber einer Vielzahl von atomrechtlichen Genehmigungen und somit Strahlenschutzverantwortlicher nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Der Vorstandsvorsitzende des Forschungszentrums hat als Strahlenschutzverantwortlicher die Wahrnehmung seiner Aufgaben an den Sicherheitsbeauftragten delegiert, der bezüglich des Strahlenschutzes als Strahlenschutzbevollmächtigter handelt.

Zur Durchführung seiner Aufgaben bedient sich der Sicherheitsbeauftragte der Hauptabteilung Sicherheit (HS), deren Leiter er ist. Die Aufgaben der Strahlenschutzüberwachung vor Ort in den einzelnen Strahlenschutzbereichen werden dabei von der Stabsstelle Operationeller Strahlenschutz[1] und die des administrativen Strahlenschutzes von der Abteilung Technisch-administrative Beratung und Genehmigungen (HS-TBG) wahrgenommen.

5.2 Administrativer Strahlenschutz[2]

5.2.1 Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung

A. Zieger, K.-G. Langguth

Der Strahlenschutzverantwortliche hat zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei atomrechtlich relevanten Tätigkeiten die notwendige Anzahl von Strahlenschutzbeauftragten zu bestellen.

Als Strahlenschutzbeauftragte (SSB) dürfen nur Personen bestellt werden,

- die zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben erforderliche Befugnisse besitzen
- bei denen keine Tatsachen vorliegen, aus denen sich Bedenken gegen ihre Zuverlässigkeit ergeben und
- die im Besitz der erforderlichen Fachkunde sind.

Die erforderliche Fachkunde wird durch eine geeignete Ausbildung, praktische Erfahrung und die erfolgreiche Teilnahme an anerkannten Kursen erworben und muss von der zuständigen Behörde bescheinigt werden. Weiterhin muss jeder Strahlenschutzbeauftragte im 5-Jahres-Rhythmus seine Fachkunde durch Teilnahme an einem von der Behörde anerkannten Kurs oder anderen behördlich anerkannten Fortbildungsmaßnahmen aktualisieren.

Die Gruppe „Administrativer Strahlenschutz“ von HS-TBG berät die Organisationseinheiten und die Strahlenschutzbeauftragten über die vom jeweiligen Genehmigungsumfeld abhängenden Anforderungen an die Fachkunde, erwirkt die erforderlichen Fachkundebescheinigungen bei den jeweils zuständigen Behörden und überwacht die Termine zur Fachkundeaktualisierung.

---

[1] Bis zum 31.07.2008 wurden diese Aufgaben von der Abteilung Überwachung und Messtechnik (HS-ÜM) wahrgenommen.

[2] Die dem administrativen Strahlenschutz formal zuzurechnende Durchführung atomrechtlicher Genehmigungsverfahren ist, zusammen mit der Durchführung von Genehmigungsverfahren auf anderer Rechtsgrundlage, in einem gesonderten Kapitel (Kap.2) ausgeführt.

Bei der Bestellung der Strahlenschutzbeauftragten sind deren Aufgaben und lokalen Zuständigkeitsbereiche durch die Organisationseinheiten und HS-TBG so gegeneinander abzugrenzen, dass Doppelverantwortlichkeiten oder Lücken in den Verantwortungsbereichen ausgeschlossen sind. Die Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten, ihre Entlastung sowie Änderungen in innerbetrieblichen Entscheidungsbereichen erfolgen schriftlich und müssen der jeweiligen Aufsichtsbehörde mitgeteilt werden.

Die große Zahl der Bereiche des Forschungszentrums, die Vielfalt der erteilten atomrechtlichen Genehmigungen und die ständig erforderlichen Aktualisierungen aufgrund von Änderungen im Genehmigungsumfeld sowie durch Personalwechsel bedingen einen erheblichen administrativen Aufwand. Ende 2008 waren 139 (Vorjahr 141) Personen zu Strahlenschutzbeauftragten nach StrlSchV und RöV bestellt, die in 233 (Vorjahr 242) eigenständigen innerbetrieblichen Entscheidungsbereichen tätig sind. Im Jahr 2008 waren insgesamt 22 Neubestellungen oder Entlastungen von Strahlenschutzbeauftragten durchzuführen sowie 25 (Vorjahr 104) innerbetriebliche Entscheidungsbereiche neu festzulegen oder geänderten Gegebenheiten anzupassen. Für Neubestellungen waren 11 Fachkundebescheinigungen einzuholen.

5.2.2 Umsetzung des atomrechtlichen Regelwerkes

K.-G. Langguth, A. Zieger

Der Aufgabenbereich administrativer Strahlenschutz sorgt für eine einheitliche Umsetzung des atomrechtlichen Regelwerkes, indem er die Strahlenschutzbeauftragten berät, die Betriebsstätten begeht und an Aufsichtsbesuchen der Behörden teilnimmt. Er unterstützt die Strahlenschutzbeauftragten durch die Bereitstellung des so genannten Strahlenschutzordners. Dieser Ordner ist eine Arbeitsunterlage für die Strahlenschutzbeauftragten in Form einer Loseblattsammlung, in der alle wesentlichen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, das aktuelle interne Regelwerk des Forschungszentrums einschließlich der an die SSB gerichteten Strahlenschutzanweisungen enthalten sind. Wesentliche Inhalte dieses Ordners werden zusätzlich im Intranet des Forschungszentrums unter KISS (Karlsruher Informations-System Sicherheit) angeboten.

5.2.3 Betriebsüberwachung

K.-G. Langguth, A. Zieger, O. Zwernemann

Eine der Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen ist die Durchführung einer regelmäßigen Betriebsüberwachung. Diese wird, zusätzlich zur Beratung und zur Bereitstellung interner Regelungen und Anweisungen, durch Begehungen der atomrechtlich relevanten Arbeitsstätten durch Strahlenschutzingenieure und wissenschaftliche Mitarbeiter der Gruppe „Administrativer Strahlenschutz“ sichergestellt. Bei diesen Begehungen wird überprüft, ob die einschlägigen Bestimmungen wie Atomgesetz, Strahlenschutzverordnung, Röntgenverordnung, Genehmigungsauflagen sowie das interne Regelwerk des Forschungszentrums umgesetzt werden. Begehungen können auch als Schwerpunktprüfungen auf Teilbereiche oder Teilaspekte begrenzt sein.

Zu Begehungen werden neben der Leitung der betreffenden Organisationseinheit der Strahlenschutzbeauftragte des Bereiches, der Operationelle Strahlenschutz, die Medizinische Abteilung und der Betriebsrat eingeladen. Ergebnisse von Begehungen und - soweit erforderlich - die Meldung, dass ein festgestellter Mangel beseitigt ist, werden dokumentiert.

Darüber hinaus werden auch Aufsichtsbesuche durch Vertreter der atomrechtlichen Behörden in Anlagen und Einrichtungen des Forschungszentrums von Mitarbeitern der Gruppe Strahlenschutz begleitet, um zu gewährleisten, dass Regelungen der Organisationseinheiten mit dem übergeordneten Regelwerk des Forschungszentrums in Einklang stehen. Im Jahr 2008 wurden insgesamt 20 Begehungen nach Strahlenschutz- oder Röntgenverordnung und im Rahmen von Aufsichtsbesuchen durchgeführt.

5.2.4 Zentrale Erfassung und Überwachung von Personen nach Röntgen- und Strahlenschutzverordnung

S. Debus, A. Zieger, K.-G. Langguth, D. Bosch

Nach der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung unterliegen Personen der Strahlenschutzüberwachung, wenn sie sich in Strahlenschutzbereichen aufhalten und dies zu einer effektiven Dosis von mehr als 1 mSv im Kalenderjahr führen kann. Von Personen, die sich in Kontrollbereichen aufhalten, muss - unabhängig von der Höhe der effektiven Dosis im Kalenderjahr - grundsätzlich die Körperdosis ermittelt und gemäß den Bestimmungen der Verordnungen überwacht werden. Die Erfassung dieser Personen ist vorrangig die Aufgabe des jeweils zuständigen Strahlenschutzbeauftragten (SSB) in enger Zusammenarbeit mit der Hauptabteilung Sicherheit. Die dazu erhobenen Personendaten und die gemessenen Dosiswerte werden an HS-TBG übermittelt. Für die Erfassung, Verarbeitung und Dokumentation dieser Daten wird ein umfangreiches „Personendosisregister“ unterhalten, das neben der Erfüllung der gesetzlich vorgeschriebenen Aufzeichnungs- und Mitteilungspflichten auch zur Überwachung von Terminen und Dosisgrenzwerten dient. Die für die einzelnen Personen festgelegten Maßnahmen zur Strahlenschutzüberwachung werden jährlich durch den zuständigen SSB überprüft und gegebenenfalls neu festgelegt.

Im Jahr 2008 wurden 991 (Vorjahr 984) Personen des Forschungszentrums gemäß Strahlenschutz- und Röntgenverordnung überwacht und die zugehörigen Daten im Personendosisregister dokumentiert. Sofern Änderungen in den Expositionsbedingungen von beruflich strahlenexponierten Personen eintraten, und/oder durch Arbeitsplatzwechsel ein anderer Strahlenschutzbeauftragter zuständig wurde, wurde dies im Personendosisregister durch das Anlegen eines neuen Überwachungsintervalls dokumentiert. Im Jahr 2008 wurden 1008 (Vorjahr 994) Überwachungsintervalle für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums angelegt.

Im zentralen Personendosisregister werden zudem von Fremdfirmenmitarbeitern (siehe Kap. 5.2.5.1) die nichtamtlichen Dosiswerte aus äußerer Strahlenexposition sowie die Dosiswerte aus innerer Exposition, die auf Aufenthalte in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums zurückzuführen sind, entsprechend den gesetzlichen Vorgaben dokumentiert.

5.2.4.1 Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen

Für Mitarbeiter des Forschungszentrums, die gemäß der Definition der jeweiligen Verordnung beruflich strahlenexponierte Personen sind, werden erfasst: Personendaten, Angaben zum Ort und zur Art des Arbeitsplatzes, Angaben zur möglichen äußeren Strahlenexposition und zur möglichen Strahlenexposition durch Inkorporation sowie Angaben zu den am jeweiligen Arbeitsplatz vorgesehenen Schutzmaßnahmen. Mit der Erfassung unterliegt die betroffene Person je nach Kategorie (A oder B) der routinemäßigen administrativen Strahlenschutzüberwachung. Diese beinhaltet termingerechte arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach StrlSchV, termingerechte Strahlenschutzunterweisungen, die Ausrüstung mit Dosimetern, die Dokumentation der Dosiswerte und die Prüfung auf Einhaltung der jeweiligen Dosisgrenzwerte. Die routinemäßige Strahlenschutzüberwachung endet mit der Abmeldung durch den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten. Die Daten müssen entsprechend den gesetzlichen Vorgaben, also mindestens bis 30 Jahre nach Beendigung der Tätigkeit als beruflich strahlenexponierte Person, dokumentiert und archiviert werden.

Der zuständige SSB erhält aus dem Personendosisregister als Hilfe zur Wahrnehmung seiner Aufgaben monatlich folgende Informationen über die ihm als SSB zugeordneten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums:

- Namen der Personen, die im Folgemonat unterwiesen werden müssen
- Namen der Personen, die im Folgemonat von einem ermächtigten Arzt zu untersuchen sind

- Liste der Personen, die aufgrund fehlender termingerechter Unterweisung oder Untersuchung im laufenden Monat gesperrt sind
- Liste der Personen, für die im Folgemonat eine Inkorporationsmessung durchgeführt werden soll
- Übersicht über die im Personendosisregister bis zum entsprechenden Monat registrierten Monatsdosen aus äußerer Bestrahlung.

Die beruflich strahlenexponierten Personen des Forschungszentrums erhalten jährlich einen Auszug aus dem Personendosisregister über ihre berufliche Strahlenexposition des vergangenen Jahres und ihre bis dahin erfasste Berufslebensdosis.

5.2.4.2 Überwachung von Personen, die keine beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorien A oder B nach StrlSchV sind

In Kontrollbereichen ist – unabhängig von der zu erwartenden Dosis – grundsätzlich die Personendosis zu messen. Personen, die keine beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A oder B gemäß der Definition der Strahlenschutzverordnung sind, besitzen kein persönlich zugeordnetes amtliches Dosimeter und werden darum, wenn sie Kontrollbereiche des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH betreten, mit einem nichtamtlichen Dosimeter ausgestattet. Dies gilt sowohl für Eigen- als auch für Fremdpersonal. Im zentrumsinternen Personendosisregister werden die Personendaten dieser Personen, ihre Aufenthaltszeiten im Kontrollbereich, die Dosiswerte aus äußerer Strahlenexposition, und gegebenenfalls Dosiswerte aus innerer Exposition erfasst.

5.2.4.3 Überwachung von Besuchern in Kontrollbereichen des Forschungszentrums

Besucher und Besuchergruppen, die Kontrollbereiche des Forschungszentrums betreten, unterliegen ebenfalls einer Überwachung. Die vorgeschriebene Dokumentation der anhand direkt ablesbarer Dosismeter gemessenen oder ermittelten effektiven Dosis sowie der Personaldaten und des Namens der Begleitperson wird vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten und nicht von HS-TBG vorgenommen.

5.2.4.4 Inkorporationsüberwachung im Forschungszentrum

Eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung ist bei Personen erforderlich, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen und bei denen nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Körperdosis durch Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper ein Zehntel des Grenzwertes für die effektive Dosis von 20 mSv pro Jahr bzw. ein Zehntel der Organdosisgrenzwerte gemäß § 55 Abs. 2 StrlSchV überschreitet. Zur Bestimmung der Dosis durch Inkorporation können verschiedene Messmethoden angewandt werden, z. B. Messung der Raumluftaktivitätskonzentration am Arbeitsplatz, direkte Messung der Aktivitäten im Körper oder Ausscheidungsanalysen.

Die Notwendigkeit einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung wird in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde auf der Grundlage der „Strahlenschutzanweisung des Sicherheitsbeauftragten zur Inkorporationsüberwachung“ festgelegt.

Im Berichtsjahr war das Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung bei keiner Anlage oder Einrichtung des Forschungszentrums Karlsruhe gegeben. Trotzdem wurden bei Mitarbeitern des Forschungszentrums, die Umgang mit offenen Transuranen hatten, Kontrollmessungen in Form von Stuhl- und Urinanalysen durchgeführt.

Sollte zukünftig in bestimmten Bereichen wieder eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung erforderlich werden, so werden das Überwachungsverfahren und die Überwachungshäufigkeit in Abhängigkeit vom jeweils zu bestimmenden Radionuklid neu festgelegt.

Nach außergewöhnlichen Ereignissen (z. B. bei Kontaminationen mit Inkorporationsverdacht) werden weiterhin Inkorporationsmessungen durchgeführt. Bei den im Jahr 2008 durchgeführten

Inkorporationsanalysen aufgrund außergewöhnlicher Ereignisse, wurde bei einem Mitarbeiter des Forschungszentrums und bei 9 Mitarbeitern von Fremdfirmen eine Dosis aufgrund innerer Exposition berechnet. Die daraus resultierende effektiven Dosen betrugen in allen Fällen 0 mSv. Seit Ende 2004 werden die Werte der berechneten Inkorporationsdosen dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) nach standardisiertem Verfahren auf elektronischem Wege übermittelt.

5.2.4.5 Ergebnisse der Personendosisüberwachung

In Tab. 5-1 ist für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Jahresdosiswerte, die Anzahl der Personen mit Jahresdosen im jeweiligen Dosisintervall und die höchste für eine Person festgestellte Jahresdosis aus Inkorporationen und äußerer Bestrahlung angegeben. Die äußere Bestrahlung der beruflich strahlenexponierten Personen wurde mit Phosphatglasdosimetern des Helmholtz-Zentrum-München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt überwacht. Die angegebenen Dosiswerte sind die Summe aus Photonen- und – soweit gemessen – Neutronendosis.

Dosisintervall in mSv					**Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte in Prozent [Anzahl der Personen]**	
		H	=	0	80,4	[529]
0	<	H	≤	0,5	16,1	[106]
0,5	<	H	≤	1,0	1,5	[10]
1,0	<	H	≤	3,0	1,4	[9]
3,0	<	H	≤	6,0	0,6	[4]
6,0	<	H	≤	10,0	0	[0]
10,0	<	H			0	[0]
Anzahl erfasster Monatsdosiswerte					6 846	(Vorjahr 7 030)
höchste Jahresdosis in mSv					4,0	(Vorjahr 3,7)

Tab. 5-1: Ergebnisse der Personendosisüberwachung für das Jahr 2008 für Personen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH

Im Jahr 2008 wurden insgesamt 658 Jahresdosen aufgrund von Kontrollbereichsaufenthalten bestimmt. Die summierte Dosis dieser Personen betrug einschließlich der Dosen aufgrund innerer Exposition 55,2 mSv (Vorjahr: 70,9 mSv). Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Strahlenexposition von etwa 0,08 mSv. Der höchste für eine Einzelperson festgestellte Jahreswert der Personendosis betrug 4,0 mSv (Vorjahr 3,7 mSv). Er wurde bei einer beruflich strahlenexponierten Person der Kategorie A festgestellt. Auch dieser Maximalwert blieb deutlich unter dem Jahresdosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung von 20 mSv.

In Tab. 5-2 ist für beruflich strahlenexponierte Mitarbeiter von Fremdfirmen, die nach § 15 StrlSchV in Kontrollbereichen des Forschungszentrums, in denen eine Zweitdosimetrie verpflichtend ist, tätig waren, die prozentuale Häufigkeitsverteilung der ermittelten Betreiberjahresdosis, die Anzahl der Personen mit Jahresdosen im jeweiligen Dosisintervall und die höchste für eine Person festgestellte Betreiberjahresdosis wiedergegeben. Die angegebenen Dosiswerte stammen von elektronischen direkt ablesbaren RADOS-Dosimetern und aus Inkorporationsüberwachungsmaßnahmen.

Dosisintervall in mSv					Häufigkeitsverteilungen der Betreiber-Jahresdosiswerte in Prozent [Anzahl der Personen]	
		H	=	0	72,9	[519]
0	<	H	≤	0,5	17,0	[121]
0,5	<	H	≤	1,0	4,3	[31]
1,0	<	H	≤	3,0	4,1	[29]
3,0	<	H	≤	6,0	1,7	[12]
6,0	<	H	≤	10,0	0	[0]
10,0	<	H			0	[0]
höchste Jahresdosis in mSv					4,9	(Vorjahr 7,8)

Tab. 5-2: Ergebnisse der Personendosisüberwachung für das Jahr 2008 des mit Betreiberdosimetern überwachten Fremdfirmenpersonals in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH unter Einschluss der aus außergewöhnlichen Ereignissen resultierenden effektiven Dosen durch Inkorporation.

5.2.5 Personen in fremden Strahlenschutzbereichen

U. Bartmann, S. Debus, A. Köhler, A. Zieger, K.-G. Langguth

Die Schutzvorschriften der Strahlenschutzverordnung unterscheiden nicht zwischen fremdem Personal und Personal des Inhabers einer atomrechtlichen Umgangs- oder Betriebsgenehmigung (Betreiber). Da sowohl der Arbeitgeber, der sein Personal in fremde Anlagen oder Einrichtungen entsendet, als auch der Betreiber dieser Anlagen und Einrichtungen, den Schutz der beschäftigten Person sicherzustellen hat, sind die Strahlenschutzverantwortlichkeiten und die daraus resultierenden Aufgaben zwischen beiden Verantwortlichen genau abzugrenzen. Wer sein Personal in fremden Anlagen oder Einrichtungen beschäftigt oder dort selbst Aufgaben wahrnimmt, bedarf einer Genehmigung nach § 15 StrlSchV, wenn dies mit einer beruflichen Strahlenexposition von mehr als 1 mSv pro Jahr verbunden sein kann. Diese Genehmigungen machen zur Auflage, dass zwischen dem Genehmigungsinhaber und dem Betreiber der fremden Anlage oder Einrichtung ein Vertrag über die Abgrenzung der Aufgaben ihrer Strahlenschutzbeauftragten abgeschlossen wird. Diese „Abgrenzungsverträge“ werden für das Forschungszentrum im Aufgabenbereich „Administrativer Strahlenschutz“ abgeschlossen und verwaltet.

5.2.5.1 Fremdfirmenpersonal in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums

Obwohl das Forschungszentrum nicht Adressat der Genehmigungsbescheide nach § 15 StrlSchV ist, folgt es der bundesweit üblich gewordenen Praxis, sich diese Genehmigungen der Fremdfirmen vor Abschluss eines Abgrenzungsvertrages vorlegen zu lassen und deren zeitlich begrenzte Gültigkeit regelmäßig zu überprüfen. Dadurch soll, obwohl aktuell noch keine Rechtsverpflichtung besteht, das rechtlich einwandfreie Verhalten der in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums beschäftigten Fremdfirmen und ein höchstmöglicher Strahlenschutz für deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sichergestellt werden. Zum Jahresende 2008 hatte das Forschungszentrum Karlsruhe mit 265 Fremdfirmen gültige Abgrenzungsverträge.

Die wichtigsten Daten der nach § 15 StrlSchV tätigen Fremdfirmen, wie Informationen zu Genehmigungen, Vertragsstatus, Zuständigkeiten, Anschriften, Fax- und Telefonverbindung sind online im Intranet des Forschungszentrums Karlsruhe abrufbar. Durch diesen immer aktuellen Online-Zugriff werden die Strahlenschutzbeauftragten, Strahlenschutzmitarbeiter vor Ort, Ein-

käufer von Werkvertragsleistungen und Einsatzkräfte für Schadensfälle in ihrer Arbeit mit aktuellen Daten unterstützt.

2008 wurde nur noch in den von der Behörde festgelegten Bereichen HDB, IMF II-FML, MZFR und KNK eine Betreiberdosimetrie durchgeführt. Obwohl behördlich nicht gefordert, wurde außerdem im INE die nichtamtliche Zweitdosis ermittelt. In allen anderen Bereichen war aufgrund des geringen Gefährdungspotentials sowohl für Fremd- als auch Eigenpersonal nur die amtliche Dosimetrie erforderlich. Die ermittelten nichtamtlichen Dosiswerte wurden beim Verlassen des Forschungszentrums in den Strahlenpass des Fremdfirmenmitarbeiters eingetragen. War der Fremdfirmenmitarbeiter in Kontrollbereichen ohne Erfordernis einer Betreiberdosimetrie eingesetzt, so wurde dies an der entsprechenden Stelle des Strahlenpasses vermerkt.

Waren Fremdfirmenmitarbeiter von Zwischenfällen betroffen, die eine Inkorporationsüberwachungsmaßnahme erforderlich machten, wurde ihren jeweiligen Arbeitgebern das Ermittlungsergebnis und die daraus eventuell resultierenden Körperdosen mitgeteilt.

Außerdem erhält jede Fremdfirma eine Jahresübersicht über die im Kalenderjahr in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe erhaltenen nichtamtlichen Dosen ihrer im Forschungszentrum Karlsruhe beschäftigten Mitarbeiter. Neben diesen routinemäßigen Mitteilungen an die Fremdfirmen, übernimmt HS-TBG als Kontaktstelle in allen Fragen des Strahlenschutzes auch die aus den Abgrenzungsverträgen resultierenden Informationspflichten des Forschungszentrums gegenüber diesen Fremdfirmen und den jeweils zuständigen Behörden.

Die Erfordernisse für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Fremdfirmen, die in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums tätig werden, aber keiner Genehmigung nach § 15 StrlSchV bedürfen, sind in den Kapiteln 5.2.4.2 und 5.2.5.3 ausgeführt.

5.2.5.2 Personal des Forschungszentrums Karlsruhe in Strahlenschutzbereichen fremder Anlagen oder Einrichtungen

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist auch im Besitz einer eigenen Genehmigung nach § 15 StrlSchV, damit beruflich strahlenexponierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums in fremden Anlagen oder Einrichtungen tätig werden können. Mit insgesamt 39 Betreibern hat das Forschungszentrum Karlsruhe den gemäß dieser Genehmigung erforderlichen Abgrenzungsvertrag abgeschlossen.

Zur Durchführung der Genehmigung und zur Wahrnehmung der Aufgaben und Pflichten hinsichtlich des Strahlenschutzes bei der Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen, wurden zentral bei HS-TBG Strahlenschutzbeauftragte bestellt. Für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungszentrums, die nach § 15 StrlSchV tätig werden, wurden die zu beachtenden Strahlenschutzregelungen in einer Strahlenschutzanweisung des Sicherheitsbeauftragten festgelegt. Diese werden ihnen vor ihrem Einsatz in der fremden Anlage oder Einrichtung ausgehändigt.

HS-TBG ist außerdem für die Registrierung und das Führen der erforderlichen Strahlenpässe des beruflich strahlenexponierten Personals des Forschungszentrums zuständig.

Die in der fremden Anlage oder Einrichtung erhaltenen Dosen werden außerdem im Personendosisregister dokumentiert. Von den derzeit zur Strahlenschutzüberwachung angemeldeten Personen besaßen zum Jahresende 2008 153 einen Strahlenpass, wobei im Jahr 2008 18 Strahlenpässe neu zu registrieren waren.

5.2.5.3 Strahlenpassstelle

Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, die als beruflich strahlenexponierte Personen im § 15 Genehmigungsumfeld Strahlenschutzbereiche des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH betreten wollen, müssen sich mit ihrem gültigen, vollständig ausgefüllten Strahlenpass und ihrem

amtlichen Dosimeter in der zentralen Strahlenpassstelle des Forschungszentrums anmelden. Sofern die Zugangsvoraussetzungen erfüllt sind (gültige Genehmigung, gültiger Abgrenzungsvertrag, keine Dosisüberschreitungen, erforderliche arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, gültiger und vollständig ausgefüllter Strahlenpass usw.) werden sie im zentralen EDV-Programm angemeldet. Abhängig vom Einsatzort kann dann zunächst eine Eingangs-Inkorporationsmessung im Bodycounter erforderlich sein. Danach erfolgt die Anmeldung beim örtlichen Strahlenschutz des jeweiligen Bereiches. Die Strahlenpässe verbleiben während des Einsatzes in der Strahlenpassstelle des Forschungszentrums.

Erstreckt sich der Einsatz von Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeitern über einen längeren Zeitraum, so werden die Strahlenpässe auf Verlangen der Fremdfirma für Nachtragungen ausgehändigt. Der Status des Strahlenpasses (ausgehändigt oder im Archiv des Forschungszentrums) wird in der EDV erfasst. Im Berichtszeitraum wurden über 1 647 mal Strahlenpässe zur Aktualisierung kurzfristig an Fremdfirmen ausgegeben und nach Rückgabe wieder in das Archiv übernommen.

Abhängig vom Einsatzort kann vor der Abmeldung noch eine Ausgangs-Inkorporationsmessung im Bodycounter erforderlich sein. Spätestens bei der Abmeldung wurden in sämtliche Strahlenpässe des im Forschungszentrum Karlsruhe tätigen beruflich strahlenexponierten Fremdfirmenpersonals die bei der Tätigkeit ermittelten nichtamtlichen externen Dosen sowie die aus durchgeführten Inkorporationsüberwachungsmaßnahmen resultierenden Dosiswerte eingetragen. Sofern diese Werte beim Verlassen des Forschungszentrums noch nicht vorlagen, wurden sie den Firmen schriftlich nachgereicht.

Auch Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, die als nicht beruflich strahlenexponierte Personen im Sinne der Strahlenschutzverordnung Strahlenschutzbereiche des Forschungszentrums Karlsruhe betreten, müssen sich über die zentrale Strahlenpassstelle anmelden. Sie müssen dabei eine Bestätigung ihres Arbeitgebers vorlegen, in der bescheinigt wird, dass sie keine beruflich strahlenexponierte Personen im Sinne des § 54 StrlSchV sind, und die Angaben zu einer eventuellen Vordosis im laufenden Kalenderjahr enthalten muss. Danach erfolgt die Anmeldung beim Strahlenschutz vor Ort, wo sie ein elektronisches nichtamtliches Dosimeter erhalten. Nicht beruflich strahlenexponierte Personen halten sich in der Regel nur kurze Zeit in Strahlenschutzbereichen auf. Nach der Abmeldung in der Strahlenpassstelle erhält die Fremdfirma eine Dosisbescheinigung über die in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe erhaltene Körperdosis ihres Mitarbeiters.

Im Jahr 2008 wurden insgesamt 702 Anmeldungen in der zentralen Strahlenpassstelle durchgeführt, wovon 105 Mehrfach-Anmeldungen waren. Des Weiteren wurden im Laufe des Jahres 2008 insgesamt 664 Abmeldungen verbucht.

Von den 867 Fremdfirmenmitarbeiterinnen und -mitarbeitern, die von insgesamt 190 Firmen im Jahre 2008 in der Strahlenpassstelle angemeldet waren, waren 643 Personen im Rahmen einer Genehmigung nach § 15 StrlSchV in Strahlenschutzbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe beschäftigt. Während ihrer Beschäftigung konnten diese Personen in mehreren Bereichen des Forschungszentrums tätig sein. Insgesamt 177 Personen, die keine beruflich strahlenexponierten Personen im Sinne der StrlSchV waren, haben im Jahr 2008 Kontrollbereiche des Forschungszentrums betreten. 47 Personen verlangten als Sachverständige gemäß § 20 AtG oder als Aufsichtsbeamte Zutritt zu Kontrollbereichen des Forschungszentrums Karlsruhe.

5.2.6 Zentrale Buchführung radioaktiver Stoffe

A. Zieger

5.2.6.1 Kernmaterialbuchführung und Euratom-Aufsicht

Im Rahmen des internationalen Vertrags zur Nichtverbreitung von Kernwaffen hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, den Umgang mit Kernmaterial der Aufsicht von Euratom und IAEO zu unterstellen und die Bestimmungen der Euratom-Verordnung[1] anzuwenden. Daraus erwächst dem Forschungszentrum eine umfangreiche Buchführungs- und Berichtspflicht.

Die Begriffsbestimmungen der Euratom-Verordnung definieren als „Kernmaterial“ Erze, Ausgangs- und besonderes spaltbares Material. Darunter fallen Natururan, abgereichertes Uran und Thorium sowie Plutonium, Uran-233 und mit Uran-235 oder Uran-233 angereichertes Uran. Diese Kernmaterialien werden in sechs Kategorien eingeteilt, für die getrennte Buchungen in den Bestandsänderungsberichten und Aufstellungen des realen Bestandes auszuweisen und getrennte Materialbilanzberichte zu erstatten sind: abgereichertes Uran, Natururan, bis zu 20 % angereichertes Uran, über 20 % angereichertes Uran, Plutonium und Thorium.

Um Kernmaterialbewegungen innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe erfassen zu können, wurden die in Frage kommenden Betriebsstätten von Euratom in verschiedene Materialbilanzzonen (MBZ) eingeteilt. Der größere Teil dieser MBZ gilt als abgeschaltet, hier sind keine Bestände an Kernmaterial mehr vorhanden. Am Jahresende 2008 waren noch die vier MBZ WKKE, WWWW, WHD1 und WHZK aktiv. Letztere musste im April reaktiviert werden, da beim Rückbau einer Metallografiezelle mit Kernmaterial kontaminierte Komponenten anfielen, die als Abfall an die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) abgegeben wurden. Die Abgabe von Kernmaterial als Abfall an die HDB wird ebenfalls von Euratom kontrolliert und seit 2007 werden auch die Bestandsänderungen in deren MBZ WHD1 gemäß Euratom-Verordnung monatlich gemeldet. Die übrigen Organisationseinheiten des Forschungszentrums melden monatlich alle Bestands- und Chargenänderungen an die zentrale Buchführung bei HS-TBG, wo die Meldungen anhand von Lieferscheinen geprüft, mit den Meldedaten der HDB abgeglichen und in die EDV aufgenommen werden. Im Jahr 2008 waren 49 Änderungen zu bearbeiten. Zur Erfassung der Daten steht eine Buchführungs-Software mit einer ACCESS-Datenbank zur Verfügung, die in Zusammenarbeit mit HS-ZA entwickelt wurde. Daraus werden die monatlichen Mitteilungen gemäß § 70 Abs. 1 Ziffer 1 StrlSchV an UM und RP-KA erstellt. Zur Übermittlung von Meldungen an Euratom wird von Euratom eine spezielle Software im Internet bereitgestellt, die heruntergeladen und auf einem lokalen Rechner installiert werden muss. Das Programm „Enmas Light“ erzeugt die Berichte in dem von Euratom geforderten Format (xml-files mit CRC-Kontrollsummen).

Im Jahr 2008 hat die Direktion Nuklearinspektion von Euratom, Luxemburg, meist zusammen mit der IAEO, Wien, im Forschungszentrum Karlsruhe drei Inspektionen durchgeführt. Mitte Juni erfolgte die jährliche Inspektion durch Euratom und IAEO aufgrund von Artikel 72 des Übereinkommens zwischen IAEO/Euratom und von Artikel 81 Abs. 2 des Euratomvertrages in der MBZ WKKE, Anlage INE. Dabei wurde eine Buchprüfung und eine Anlagenbegehung mit physikalischer Bestandskontrolle (Sichtprüfung und stichprobenartiges Ausmessen einzelner Chargen) durchgeführt. Einen Tag später wurde bei HDB eine Anlagenbegehung mit stichpro-

[1] Verordnung (Euratom) Nr. 302/2005 der Kommission vom 8. Februar 2005 über die Anwendung der Euratom-Sicherungsmaßnahmen, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 54

benartiger physikalischer Kontrolle des Bestands und eine Buchprüfung durch Euratom alleine durchgeführt. Anfang Oktober hat die IAEO, zusammen mit Euratom, aufgrund der erweiterten Zutrittsmöglichkeiten gemäß Artikel 5 des Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen (INFCIRC/193/Add.8) eine Inspektion des vom Forschungszentrum Karlsruhe deklarierten Standortes (SDFKAR2) durchgeführt, wovon die Gebäude 535, 536, 543 und 563 im Betriebsbereich der HDB betroffen waren. Dabei wurden im Inneren der Heißzellenanlage der MAW-Verschrottung in Geb. 536 fernhantiert und außen an den sog. MAW-Boxen in Geb. 543 auf Veranlassung bzw. durch die Inspektoren der IAEA selbst Wischproben genommen.

5.2.6.2 Buchführung sonstiger radioaktiver Stoffe

Aufgrund der sich aus der Strahlenschutzverordnung und aus behördlichen Auflagen ergebenden Buchführungs- und Mitteilungspflichten muss das Forschungszentrum im Laufe eines Jahres regelmäßig eine Vielzahl von Berichten und Anzeigen erstellen und den jeweils zuständigen Behörden übersenden. Hauptsächlich muss gemäß § 70 StrlSchV den zuständigen Behörden Gewinnung, Erzeugung, Erwerb, Abgabe und sonstiger Verbleib von radioaktiven Stoffen monatlich, der Bestand an radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten von mehr als 100 Tagen jährlich mitgeteilt werden. Hierzu sind entsprechende Meldungen der Strahlenschutzbeauftragten der einzelnen Organisationseinheiten an HS-TBG erforderlich, die hier bearbeitet, geprüft und rechnergestützt erfasst werden, bevor die zusammenfassenden Mitteilungen an die Behörden versandt werden können.

Für die Buchführung wurde das Programm BURAST (Buchführung Radioaktiver Stoffe) von HS entwickelt und von einer externen Firma als Web-Anwendung mit einer SQL-Datenbank programmiert. Seit 2004 werden sowohl die jährlichen als auch die monatlichen Mitteilungen an die Behörden aus diesem Programm erstellt. Alle Ein- und Ausgänge von radioaktiven Stoffen werden entweder durch die Zentralbuchhalter bei HS-TBG oder durch die Strahlenschutzbeauftragten der Organisationseinheiten und deren Mitarbeiter, die sog. OE-Buchhalter, in BURAST gebucht. Bisher wurden rund 1 450 Positionen umschlossener und 3 140 Positionen offener radioaktiver Stoffe in BURAST erfasst. Der aktuelle Bestand umfasst derzeit ca. 820 umschlossene und 910 offene radioaktive Stoffe.

Die in BURAST gespeicherten Daten bilden gleichzeitig die Grundlage für die Terminüberwachung der Wiederholungsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen. Gemäß § 66 StrlSchV in Verbindung mit der „Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 04.02.2004“ ist in der Regel jährlich eine Dichtheitsprüfung durchzuführen. Die Wiederholungsprüfungen können entfallen oder in größeren Zeitabständen durchgeführt werden, sofern bestimmte Bedingungen aus der o. g. Richtlinie erfüllt sind. Wird hiervon Gebrauch gemacht, so ist der Freistellungsgrund in der Jahresmeldung zu vermerken. Die Daten der umschlossenen Stoffe werden von HS-TBG oder den SSB in BURAST eingegeben, die Dichtheitszertifikate der Hersteller werden bei HS-TBG archiviert und eingescannt, um sie als pdf-Files in der Anwendung direkt aufrufen zu können. Die Feststellung der Erforderlichkeit sowie die Festlegungen zur Wiederholungsprüfung selbst werden durch das Physikalische Messlabor der HS getroffen. Aufgrund eines Bescheids des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13.11.2006 ist nach § 66 Abs. 4 StrlSchV die Dichtheit umschlossener radioaktiver Stoffe, die im Besitz des Forschungszentrums sind, mit Ausnahme Hochradioaktiver Strahlenquellen (HRQ), durch die Hauptabteilung Sicherheit zu prüfen. Im Jahr 2008 wurden 103 Strahler durch HS - Operationeller Strahlenschutz und neun weitere Strahler durch den TÜV geprüft. Es wurde ein undichter Strahler festgestellt, der daraufhin sofort entsorgt wurde.

5.2.6.3 Buchführungs- und Berichtspflicht der gemäß § 29 StrlSchV freigegebenen Stoffe

Gemäß § 70 Abs. 2 und 3 StrlSchV ist über die Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 Abs. 3 Satz 1 getroffen wurde (Freigabe), Buch zu führen und die Masse dieser Stoffe der zuständigen Behörde jährlich mitzuteilen. Das Forschungszentrum erhielt seinen ersten Freigabe-Bescheid im Juni 2004. HS-TBG führt Buch über die seitdem getroffenen Freigabe-Feststellungen und erstattet die erforderliche Jahresmitteilung an die Behörde. Inzwischen wurden dem Forschungszentrum insgesamt elf Freigabebescheide erteilt, von denen sechs bereits abgearbeitet und somit wieder erloschen sind.

Im Jahr 2008 wurden 289 Chargen intern zur Freigabe nach § 29 StrlSchV angemeldet. 179 Chargen, die z. T. schon im Vorjahr intern angemeldet worden waren, wurden bei Behörde und Gutachter angemeldet und gem. § 29 StrlSchV freigegeben.

Die buchführungs- und meldepflichtige Masse der freigegebenen Stoffe beläuft sich in 2008 auf insgesamt rund 1 590 Mg. Davon entfallen auf die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen etwa 1 480 Mg (93,1 %) und von flüssigen Stoffen ca. 1,1 Mg (<0,1 %). Auf die zweckgerichtete Freigabe von festen Stoffen, d. h. Abfälle die auf eine Sondermülldeponie gebracht werden, entfallen rund 109 Mg (6,9 %).

In Tab. 5-3 ist die Art, die Anzahl und die Bezeichnung der Empfänger der Berichte, die im Rahmen der zentralen Buchführung radioaktiver Stoffe und nach § 29 StrlSchV freigegebener Stoffe sowie aufgrund der Verpflichtungen gegenüber Euratom erstellt werden, in übersichtlicher Form wiedergegeben.

Art der Berichte	Anzahl der Berichte pro Empfänger				Gesamtzahl
	Euratom	Umweltministerium Baden-Württ.	Regierungs-Präsidium Karlsruhe	Sonstige Behörden	
Monatsberichte					
- Erwerb, Erzeugung und Abgabe radioaktiver Stoffe		20	12	3	35
- Bestände und Bestandsänderungen von Kernmaterial	12	(12)		(12)	12
- Erwerb und Abgabe von Tritium kanad. Ursprungs	12				12
Jahresberichte					
- Bestand an offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen incl. Kernmaterial		1	1	1	3
- Masse der Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 StrlSchV getroffen wurde (Freigabe)		1			1
- Wiederkehrende Prüfungen an umschlossenen Stoffen		1	(1)		1
- Bestand radioaktiver Stoffe der HDB, Meldekalender A-2		1	(1)		1
- Bestand an Schwerwasser amerik./kanad. Ursprungs	1				1
- Verzeichnis der Ausrüstungsgegenstände, die dem Abkommen Euratom/Kanada unterliegen	1				1
- Versand, Eingang und Ortsveränderung von konditioniertem Abfall gem. Artikel 32 der Verordnung (Euratom) 302/2005	1				1
- Materialbilanzbericht und Aufstellung des realen Bestandes an Kernmaterial	1				1
- Tätigkeitsprogramme	1				1
Insgesamt	29	36	15	16	70

Tab. 5-3: Umfang der Berichterstattung im Jahr 2008. (Berichte, die nur zusätzlich in Kopie an einen weiteren Empfänger verschickt wurden, wurden bei der Summation über alle Empfänger außer Acht gelassen.)

5.2.7 Transport radioaktiver Stoffe

A. Zieger

Zur Durchführung von Transporten radioaktiver Stoffe innerhalb des Forschungszentrums hat das Umweltministerium Baden-Württemberg (UM) im Jahr 1994 eine Genehmigung nach § 9

des Atomgesetzes erteilt. Diese Genehmigung ist mit verschiedenen Auflagen verbunden, so zum Beispiel mit der Einhaltung der internen Transportordnung des Forschungszentrums (ITO), der schriftlichen Anzeige von Transporten der Kategorie S vor deren Durchführung, der Dokumentation der Transporte nach den Kategorien R und S an zentraler Stelle zur Einsicht, der Durchführung eines Qualitätssicherungsprogramms vor dem jeweiligen Erst- und Wiedereinsatz von Transportbehältern sowie dem Führen einer autorisierten Behälterliste und einer Liste der durchgeführten wiederkehrenden Prüfungen.

Der Geltungsbereich der ITO erstreckt sich auf den Transport radioaktiver Stoffe zwischen den Organisationseinheiten mit eigenen atomrechtlichen Genehmigungen innerhalb des gesamten Geländes des Forschungszentrums, unabhängig vom Durchführenden des Transportes. Es werden drei Transportkategorien unterschieden:

- R-Transporte: Transporte, die mit Behältern, die in der autorisierten Behälterliste aufgeführt und dort für diese Stoffe hinsichtlich Aktivität und Aggregatzustand vorgesehen sind, durchgeführt werden
- F-Transporte: Transporte, die aufgrund des geringen Gefährdungspotenzials von einigen Regelungen der ITO freigestellt sind
- S-Transporte: Transporte, die weder als R- noch als F-Transporte durchgeführt werden können und jeweils der Aufsichtsbehörde vorher angezeigt werden müssen.

Die schriftliche Anzeige der S-Transporte an die Aufsichtsbehörde erfolgt durch den Abgeber der radioaktiven Stoffe, der auch für die Verpackung und Festlegung der Kategorie verantwortlich ist. Eine Kopie dieser Anzeige zusammen mit der in jedem einzelnen Fall anzufertigenden Sicherheitsbetrachtung wird bei HS-TBG auflagengemäß zur jederzeitigen Einsicht zur Verfügung gehalten. Desgleichen werden auch die Kopien bzw. Durchschläge der Transportbegleitpapiere der R-Transporte, die der Transporteur direkt nach der Durchführung an HS-TBG sendet, zur Einsicht abgelegt. Im Jahr 2008 wurden keine S-Transporte aber 94 R- und F-Transporte an HS-TBG gemeldet. Die Transporte von Reststoffen zur HDB werden dort dokumentiert und sind deshalb hier nicht mitgerechnet. HS-TBG erhält die Kopien der Reststoffbegleitscheine von Abgebern aus dem Forschungszentrum zur Information. Die Transportbegleitpapiere dienen zur Dokumentation des tatsächlichen Überganges der radioaktiven Stoffe von einem Verantwortungsbereich in einen anderen. Der Abgeber bestätigt darauf auch mit seiner Unterschrift, dass die erforderlichen wiederkehrenden Prüfungen des Transportbehälters durchgeführt und dabei keine Mängel festgestellt wurden.

Zur Erfassung aller im Forschungszentrum verfügbaren Transportbehälter wird bei HS-TBG die autorisierte Behälterliste geführt. Sie muss folgende Angaben enthalten: Behälternummer, Bezeichnung, Klassifizierung, Nummer der Prüfbescheinigung, zugelassener Inhalt, zugelassene Aktivitätsmenge und den Vermerk, ob diese Angaben prototypisch sind, oder für einzelne Behälter gelten. Zur Führung der Liste sind HS-TBG der Erwerb und die Inbetriebnahme nicht erfasster Behälter sowie die Beseitigung oder endgültige Außerbetriebnahme erfasster Behälter schriftlich anzuzeigen. Bei Aufnahme neuer Behälter in die Liste muss die verantwortliche Organisationseinheit bei HS-TBG Prüfbescheinigungen, Prüfanweisungen, Zeichnungen und Farbfotos vorlegen. Im Jahr 2008 wurden drei Transportbehälter des ITP-TLK neu in die Behälterliste der ITO aufgenommen und dies auflagengemäß durch HS-TBG an die Behörde gemeldet. Zurzeit sind rund 13 500 Transportbehälter in der autorisierten Behälterliste erfasst. Sie werden allerdings nicht alle einzeln aufgeführt sondern können auch in Gruppen zusammengefasst werden, so dass sich die Gesamtzahl der Einträge auf etwa 225 beläuft.

Die wiederkehrenden Prüfungen der Transportbehälter erfolgen durch einen dazu qualifizierten Prüfer bei BTI-F oder einen externen Prüfer, wie z. B. den TÜV. Die Terminverfolgung wird von HS-TBG durchgeführt, mit Hilfe der Funktionen in der elektronisch geführten Behälterliste.

Die Pflege dieser elektronischen Liste, d. h. Einstellen neuer Behälter und aktueller Prüfbescheinigungen, Terminabfragen, Stilllegung beseitigter Behälter etc. obliegt allein HS-TBG.

5.3 Verpflichtungen aufgrund des Verifikationsabkommens zur Kernmaterialüberwachung und des Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen

R. Hüfner, A. Zieger

Die Bundesrepublik Deutschland ist, wie andere westeuropäische Staaten auch, dem Vertrag über die Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen beigetreten und hat sich in einem Übereinkommen (Verifikationsabkommen) zwischen den Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Atomgemeinschaft, der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) und der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) verpflichtet, Kontrollmaßnahmen der IAEO bezüglich des Bestandes und der Verwendung spaltbarer Kernmaterialien (U, Th, Pu) zu dulden.

Aufgrund der Bestrebungen einiger Schwellenländer, Kernwaffen zu entwickeln, sind die im Verifikationsabkommen gebundenen Länder im Rahmen eines Zusatzprotokolls zum Verifikationsabkommen übereingekommen, die Kontrollen der IAEO zu intensivieren, um dieser Entwicklung entgegen zu steuern.

Am 30.04.2004 trat dieses Zusatzprotokoll in Kraft, aufgrund dessen das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH als Zusatzverpflichteter der IAEO über die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EURATOM-Direktorat TREN H) eine Beschreibung des Standortes (Anlagen, betriebliche Einrichtungen und Forschungsinstitute im Zusammenhang mit dem Kernbrennstoffkreislauf) übermitteln musste. Diese Beschreibung muss jährlich aktualisiert werden.

Änderungen gegenüber dem Vorjahr ergaben sich ausschließlich durch den Abriss von drei und den Neubau von fünf Gebäuden im Betriebsbereich der HDB. Bezüglich der Ortsveränderung konditionierten Abfalls wurde sowohl über Materialein- als auch -ausgänge berichtet. Die Materialausgänge bestanden in der Rücksendung von Abfällen, die bei der HDB konditioniert wurden, an die externen Verursacher. Die Materialeingänge sind auf eine Absprache mit Euratom Luxemburg zurückzuführen, um Materialien, die vor in Kraft treten der Euratomverordnung 302/2005 als „Gemessener Abfall“ aus der Kernmaterialüberwachung entlassen, aber erst nach dem in Kraft treten dieser Verordnung - die Materialkategorie „Gemessener Abfall“ wurde dabei gestrichen - an HDB geliefert wurden, in der Materialbilanz der HDB erfassen zu können.

Die Abb. 5-4 zeigt einen Ausschnitt aus dem Generalbebauungsplan, der sich auf die so genannte „site map“ beschränkt, mit den Änderungen im Gebäudebestand bzw. der Gebäudenutzung.

BTI-B sei an dieser Stelle für die Unterstützung bei der Planerstellung gedankt.

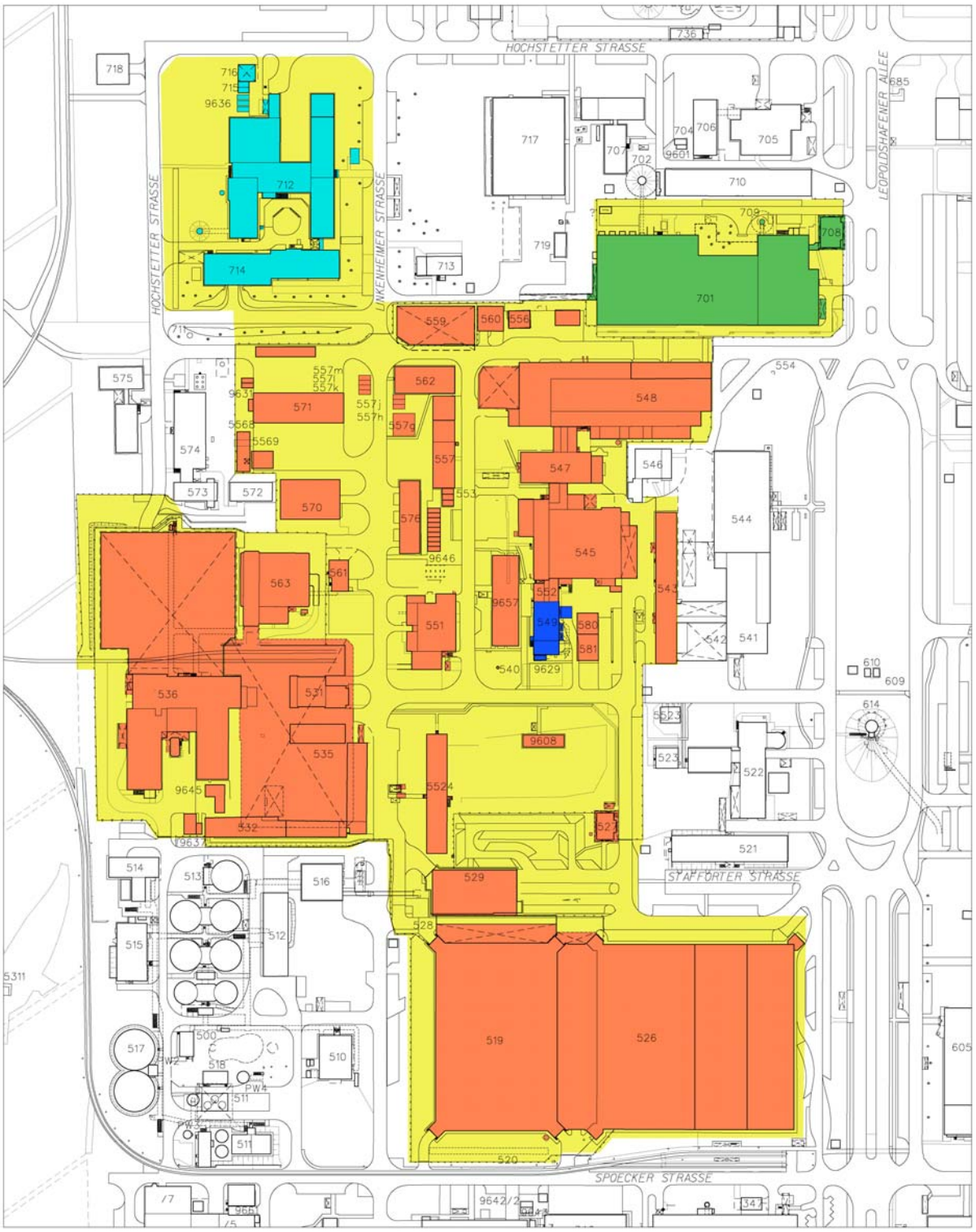


Abb. 5-1: Ausschnitt aus dem Generalbebauungsplan mit dem „Standort“ SDFKAR2

5.4 Meldepflichtige Ereignisse nach Strahlenschutzverordnung

Nach § 51 StrlSchV ist der Eintritt eines Unfalles, eines Störfalles oder eines sonstigen sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignisses der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde unverzüglich mitzuteilen. Die Vorgehensweise zur Unterrichtung der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden über Vorkommnisse im Forschungszentrum Karlsruhe sind in einer „Melde- und Informationsregelung“ festgelegt.

Im Jahr 2008 wurde den Aufsichtsbehörden ein sicherheitstechnisch bedeutsames Ereignis der Meldestufe II gemeldet. Bei der wiederkehrenden Prüfung eines umschlossenen radioaktiven Stoffes, der in einer Bestrahlungseinrichtung eingebaut war, wurde eine Undichtigkeit festgestellt.

Zwei Vorkommnisse, die von besonderem Interesse für das Umweltministerium Baden-Württemberg sowie für das Regierungspräsidium Karlsruhe als atomrechtliche Aufsichtsbehörden gewesen sein könnten, wurden als Meldungen der Meldestufe „INFO“ übermittelt.

5.5 Operationeller Strahlenschutz

H. Dilger, A. Reichert

Die Aufgaben des operationellen Strahlenschutzes umfassen die Bereitstellung von Strahlenschutzpersonal einschließlich der Messgeräte zur Durchführung der radiologischen Arbeitsplatzüberwachung, der Messungen nach § 44 StrlSchV zur Wiederverwendung, oder Reparatur und der Freigabemessungen nach § 29 StrlSchV vor Ort (siehe Kap.5.6).

Die Gruppen Arbeitsplatzüberwachung Forschung und Arbeitsplatzüberwachung Stilllegung unterstützen die Strahlenschutzbeauftragten in der Wahrnehmung ihrer Pflichten gemäß Strahlenschutz- und/oder Röntgenverordnung. Der Umfang der Zusammenarbeit ist teilweise in Abgrenzungsregelungen zwischen der Hauptabteilung Sicherheit und den entsprechenden Instituten/Organisationseinheiten festgelegt. Vier Mitarbeiter der Abteilung nehmen Aufgaben als Strahlenschutzbeauftragte für Teilbereiche im MZFR und in der KNK wahr.

5.5.1 Arbeitsplatzüberwachung

A. Reichert, B. Reinhardt

Bedingt durch die Aufgabenstellung sind die Mitarbeiter der Arbeitsplatzüberwachung dezentral in den einzelnen Bereichen des Forschungszentrums tätig. Nach der räumlichen Lage der zu überwachenden Gebäude gliedern sich die zwei Gruppen in die vier Bereiche „Institute“, HDB, MZFR und KNK (siehe Abb. 5-2 und Tab. 5-4). Im Berichtsjahr konnte der Rückbau des IK-Zyk Geb. 351, sowie abgeschlossen werden, dass die Räume zur Freigabe anstehen und der Magnet als radioaktiver Reststoff an HDB abgegeben werden kann.

5.5.2 Personendosimetrie

Eine wichtige Aufgabe für die Arbeitsplatzüberwachung ist die Durchführung der Personendosimetrie. Neben einem amtlichen Flachglas oder Albedodosimeter erhalten beruflich strahlenexponierte Personen in den Anlagen der HDB, des IMF II-FML, des INE, des MZFR und der KNK ein selbstablesbares nicht persönlich zugeordnetes elektronisches Dosimeter. Neben der Personendosis kann mit diesem Dosimetriesystem auch die maximale Dosisleistung während eines Arbeitseinsatzes ermittelt werden. Weiterhin werden die elektronischen Dosimeter als Alarmdosimeter hinsichtlich Dosisleistung und Dosis verwendet. Die eingestellten Warnwerte werden der durchzuführenden Arbeit angepasst und betragen für die Dosisleistung zwischen 100 und 3000 µSv/h und für die Dosis zwischen 0,5 und 2 mSv. Die Anzahl der Personen einschließlich Fremdfirmenangehöriger, die strahlenschutzmäßig überwacht werden (Stichmonat Dezember 2008), ist in Spalte 4 der Tab. 5-4 aufgeführt.

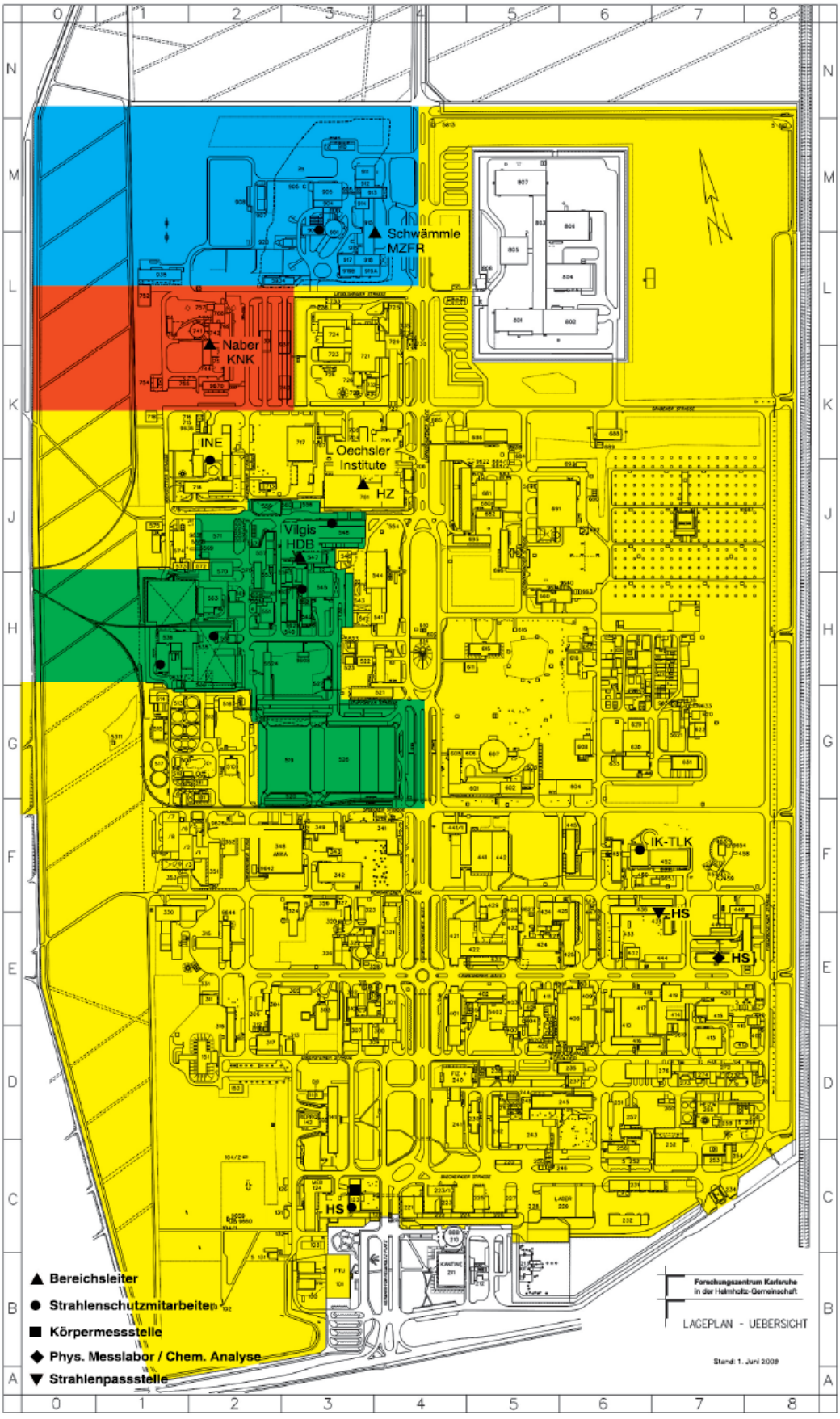


Abb. 5-2: Lageplan des Forschungszentrums Karlsruhe mit Bereichseinteilung

5.5.2.1 Kontaminationskontrollen

Die Gebäude und Anlagen werden routinemäßig durch Oberflächenkontaminations-, Wischproben- und Raumluftmessungen überwacht. Die Fläche der Überwachungs-, Kontroll- und Sperrbereiche ist in Spalte 5 der Tab. 2-1 angegeben.

Vom Überwachungsbereich werden nur die Bereiche aufgeführt, in denen eine Aktivität oberhalb der Freigrenze gehandhabt wird.

Die Kontaminationskontrolle von Personen am Ausgang von Bereichen, in denen genehmigungspflichtig mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, geschieht in Eigenüberwachung mit Hand-Fuß-Kleider-Monitoren oder in der HDB, in der KNK, im MZFR und im INE mit Ganzkörpermonitoren mit automatisiertem Messablauf. Die Alarmwerte werden gemäß den Vorgaben der SSK-Empfehlung „Anforderung an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereich“ eingestellt.

Die Raumluft in den Kontrollbereichen von Institutionen mit höherem Aktivitätsinventar, das sind die HDB, der MZFR, die KNK und das IMF II-FML, INE, wird mit einem Netz von stationären Aerosolsammlern und an Arbeitsplätzen, an denen eventuell mit Freisetzungen zu rechnen ist, mit Aerosolmonitoren überwacht.

Aus den Dosisgrenzwerten für beruflich strahlenexponierte Personen in den Anlagen des Forschungszentrums Karlsruhe werden die Interventionswerte allgemein für α-Aktivitätsgemische auf 0,04 Bq/m^3, für β-Aktivitätsgemische auf 40 Bq/m^3 festgelegt. Diese Werte sind abgeleitet aus der alten Strahlenschutzverordnung und werden auf dem seitherigen niedrigen Niveau belassen, obwohl die Dosiskoeffizienten nach der neuen Strahlenschutzverordnung für α-Strahler geringer sind als nach der alten Strahlenschutzverordnung. Im Tritiumlabor und im Fusionsmaterialabor, in denen mit HTO umgegangen wird, werden die Interventionswerte für HTO auf 1 MBq/m^3 festgelegt.

Bei Raumluftaktivitätskonzentrationen oberhalb dieser Interventionswerte dürfen Arbeiten in den betroffenen Anlagen des Forschungszentrums nur mit Atemschutzfiltergeräten und den entsprechenden Filtern (für Aerosole Typ P3, für Tritium als Wasserdampf Typ K2 (für 1h)) durchgeführt werden. Oberhalb des 20fachen der abgeleiteten Interventionswerte muss im Falle von aerosolförmigen Raumluftaktivitäten mit Atemschutzisoliergeräten, bei Tritium mit fremdbelüfteten gasdichten Schutzanzügen, oberhalb des 200fachen dieser Werte allgemein mit fremdbelüfteten, gasdichten Schutzanzügen gearbeitet werden.

Gruppe	Bereich Überwachte Institutionen	Anzahl der Mitarbeiter der Abteilung Strahlenschutz	Anzahl der überwachten Personen Stichmonat Dezember	Fläche des überwachten Bereichs in m²	Anzahl der Arbeitserlaubnisse Strahlenschutz
1	2	3	4	5	6
Arbeitsplatzüberwachung Forschung	Gruppenleiter	1[1] (1)			
	Institute	12,0 (11,0)	411 (365)	24900 (25100)	237 (374)
	ANKA, BTI, , FTU, HS, IK-TL, IFP, IHM, IK, IK-Zyk, IMFII-FML, INE, ITC-CPV, ITG				
Arbeitsplatzüberwachung Stilllegung	Gruppenleiter	1[1)] (1)			
	HDB	12+4^{+} (12+4^{+})	441 (496)	42200 (42200)	731 (871)
	MZFR	5 (5)	148 (136)	4950 (4950)	381 (441)
	KNK	2+1^{+} (2+1^{+})	73 (70)	2100 (2100)	457 (404)

Tab. 5-4: Anzahl der HS-Mitarbeiter in der Arbeitsplatzüberwachung, strahlenschutzmäßig überwachte Personen (einschließlich Fremdfirmenangehörigen), und Bereichsgröße jeweils Stand Dezember 2008 bzw. Anzahl der Arbeitserlaubnisse im Jahr 2008 (Vorjahreszahlen in Klammern)

Falls die Messungen in einem Raum ergeben, dass ein Interventionswert im Tagesmittel überschritten ist, werden Nachforschungen über die tatsächliche Arbeitsdauer und die getroffenen Atemschutzmaßnahmen angestellt und die individuelle Aktivitätszufuhr der Mitarbeiter in diesem Raum bestimmt. Dabei kommt für Atemschutzfiltergeräte ein Schutzfaktor von 20 und für Atemschutzisoliergeräte ein Schutzfaktor von 200 zur Anrechnung. Wenn die so bestimmten Aktivitätszufuhren den abgeleiteten Tageswert von 1,6 Bq für α-Aktivitätsgemische (Leitnuklid Pu-239 löslich) oder von 1,7 kBq für β-Aktivitätsgemische (Leitnuklide Sr-90 löslich) oder von 2,8 MBq für Tritium (HTO) überschreiten, entsprechend einer effektiven Dosis von 0,05 mSv, werden bei den betroffenen Mitarbeitern Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlass durchgeführt und eine spezielle Abschätzung der Aktivitätszufuhr vorgenommen.

5.5.2.2 Arbeitserlaubnisse Strahlenschutz

Die Mitarbeiter der Gruppen Arbeitsplatzüberwachung kontrollieren auf Anforderung des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten die Durchführung von Arbeiten mit erhöhtem Kontamina-

[1] Mit dem Ausscheiden des Leiters der Abteilung „Überwachung und Messtechnik“ zum 31.07.2008 wurde die gesamte radiologische Arbeitsplatzüberwachung in der HS-Stabstelle „Operationeller Strahlenschutz“ zusammengefasst.

tions- oder Strahlenrisiko. Autorisierte Mitarbeiter legen bei der Ausstellung von Arbeitserlaubnissen die Strahlenschutzauflagen fest. Im Jahr 2008 wurden insgesamt ca. 1800 Vorgänge (Vorjahr 2100) bearbeitet, eine Aufteilung auf die Bereiche ist der Spalte 6 von Tab. 5-4 zu entnehmen.

5.5.2.3 Schichtdienst und Rufbereitschaft

Die Abteilung Strahlenschutz unterhält von Montag bis Freitag einen Zweischichtdienst, der auch außerhalb der Regelarbeitszeit u. a. Messungen von Raumluftfiltern durchführt, die Überprüfung von Meldungen vornimmt, in Zwischenfallsituationen Strahlenschutzmaßnahmen ergreift oder Transportkontrollen durchführt. Außerhalb der Regelarbeitszeit stehen zwei Rufbereitschaften zur Verstärkung des Schichtdienstes oder zur alleinigen Klärung und Bewältigung von Zwischenfallsituationen zur Verfügung. Während der Regelarbeitszeit bilden Angehörige der Rufbereitschaft sowie zwei Personen eines Einsatzfahrzeuges den Strahlenmesstrupp für besondere Messaufgaben im Rahmen der Alarmorganisation des Forschungszentrums.

5.5.2.4 Aus- und Weiterbildung

Die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter wurde im vergangenen Jahr fortgeführt. Neben der praktischen Ausbildung unter Anleitung der Bereichsleiter wurden theoretische Kurse im Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt des Forschungszentrums besucht. Von den Mitarbeitern des operativen Strahlenschutzes wurden insgesamt 60 Fortbildungsveranstaltungen besucht. Für die Mitarbeiter des Schichtdienstes und der Rufbereitschaften wurden monatlich Begehungen von Gebäuden mit Fort- und Raumluftmonitoren sowie sonstigen dauernd betriebenen Strahlenschutzmessgeräten durchgeführt.

5.5.3 Kalibrierung und Inbetriebnahme des HFK-Monitors LB 147 zur Kontaminationsmessung an Kontrollbereichsausgängen

A. Jakobi, T. Scheeder, M. Vilgis

Neben Kontaminationsmonitoren mit gasgespülten Detektoren sind seit einigen Jahren auch Kontaminationsmonitore mit Szintillationsdetektoren verfügbar. Ein solcher Monitor soll nun bei HDB zur Kontaminationskontrolle an Kontrollbereichsausgängen eingesetzt werden.

Der HFK-Monitor LB147 der Fa. Berthold besteht aus zwei Detektoren mit 218 cm² Messfläche für Handmessungen und zwei Detektoren mit 390 cm² Messfläche für die Fußmessung. Die Benutzerführung und die Messwertanzeige erfolgt über ein Touchdisplay. Ebenso kann hierüber das Messgerät parametriert werden. Schnittstellen erlauben die Weitergabe von Alarmen und Messwerten.

Zur Bestimmung des Alpha-Wirkungsgrads wurden Pu-238-Flächenstrahler, für den Beta-Wirkungsgrad Flächenstrahler mit Cl-36, Co-60 und Cs-137 mit aktiven Flächen zwischen 26 cm² und 150 cm² verwendet. Die Wirkungsgrade für die Handdetektoren sind mit 22 % für Alpha und 32 % für Beta in einem vergleichbaren Bereich wie bei gasgespülten Detektoren. Die Handdetektoren können mit einem zusätzlichen, abnehmbaren netzartigen Schutzgitter versehen werden, das die empfindliche, lichtdichte Folie über der Szintillationsschicht des Detektors vor Beschädigungen schützt. Dieses Schutzgitter wurde bei den weiteren Messungen verwendet und hat sich im Routinebetrieb in Anlagen der HDB bewährt. Es führt zu einer Verringerung der Wirkungsgrade von ca. 6 %. Beim Fußdetektoren werden Wirkungsgrade von 8 % für Alpha, 25 % für Co-60 und 33 % für die beiden anderen Betastrahler erreicht.

Von besonderem Interesse war die homogene Ansprechvermögen des Detektors über die Messfläche. Dazu wurden Messungen mit kleinflächigen (Ø 55 mm) Präparaten an verschiedenen Positionen auf dem Detektor durchgeführt. Dies ergab einen homogenen Alpha-Wirkungsgrad über die gesamte Zählfläche, eine Verringerung zum Rand hin wurde nicht beobachtet. Dies kann mit der starken Wechselwirkung der Alpha-Teilchen mit dem Szintillationsmaterial erklärt

werden, so dass der Ort der Wechselwirkung im Detektor auch bei mittiger Position des Photomultipliers keine Rolle spielt. Für Betastrahler liegt der Wirkungsgrad in Detektormitte am höchsten. Zum Rand hin fällt er um bis zu 10 % ab. Bei den Fußdetektoren ist der Effekt etwas geringer.

Weitere Messungen mit unterschiedlich großen, quadratischen Strahlern zeigten, dass bei einem Beta-Strahler der Wirkungsgrad des Detektors mit Zunahme der aktiven Fläche abnimmt. Offensichtlich werden dann nicht alle Ereignisse im Detektor vom Photomultiplier erfasst. Bei Alphastrahlern wurde innerhalb der zählstatistischen Unsicherheit der Messung kein Effekt gefunden.

Im letzten Schritt wurden die Messparameter für den Einsatz zur Kontaminationsüberwachung an Kontrollbereichsausgängen gem. § 44 StrlSchV optimiert und in Messvorgängen getestet. Einerseits muss dabei die Nachweisgrenze der Messung unterhalb der Kontaminationsgrenzwerte liegen, andererseits soll die Quote für Fehlmessungen kleiner 5 % betragen. Die übliche Vorgehensweise, die Erkennungsgrenze als Alarmwert zu verwenden, ergab eine deutlich höhere Quote für das Erkennen von Kontamination, obwohl kein Messbeitrag (Leermessung) vorlag. Deshalb wurden die Alarmwerte auf der Basis vieler Leermessungen so festgelegt, dass die zu erwartende Fehlmessungsquote bei 5 % liegt.

Der HFK-Monitor LB 147 hat sich über viele Monate hinweg in der Routine bewährt. Die gewählten Alarmwert-Einstellungen lassen eine sichere Erkennung von Kontamination zu. Der Wirkungsgrad verändert sich selbst bei Temperaturen unter 0°C nur geringfügig. Die lichtdichte Folie über dem Detektor kann allerdings durch Schmutzpartikel und mechanische Bewegung des Detektorschutzgitters leicht beschädigt werden. Deshalb ist, wie die Erfahrungen zeigen, die Verwendung des feinmaschigen Schutzgitters an den Handdetektoren sowie einer zusätzlichen Staubschutzfolie für den rauen Einsatz unerlässlich. Mit einer Messzeit von 20 s und dem geforderten, minimalen Oberflächenansprechvermögen ergeben sich die in der Tabelle aufgeführten Erkennungs- und Nachweisgrenzen.

	Alpha		Beta	
	Handdetektor	Fußdetektor	Handdetektor	Fußdetektor
Wirkungsgrad in %	16 %	8 %	25 %	32 %
Minimales Oberflächenansprechvermögen in cm²/s/Bq	20	20	40	60
Erkennungsgrenze in Bq/cm²	0,013	0,013	0,061	0,066
Nachweisgrenze in Bq/cm²	0,031	0,031	0,125	0,135

Tab. 5-5: Parameter für die Messung mit LB147

5.6 Freigabe nach §29 StrlSchV

5.6.1 Standardverfahren

Nach der Strahlenschutzverordnung von 2001 dürfen radioaktive Stoffe sowie bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteilen, die aktiviert oder kontaminiert sind und aus dem genehmigtem Umgang stammen, als nicht radioaktive Stoffe nur abgegeben werden, wenn die Vorgaben aus der StrlSchV für die Freigabe eingehalten sind. Da es nicht praktikabel ist, für jeden einzelnen Vorgang einen Bescheid zu erlangen, hat das Forschungszentrum Karlsruhe im August 2004 einen standardisierten Bescheid für verschiedene Stoffströme zur uneingeschränkten Freigabe erlangt. Es wurden folgende Stoffströme genehmigt (in der Fassung des zweiten Änderungsbescheides vom 11.11.2005):

- Metallschrott
- Nichtmetalle
- Beton
- geschredderte Elektrokabel
- Bauschutt
- Bodenaushub
- brennbare Abfälle
- Schüttgüter aus homogenem Material
- Flüssigkeiten und
- Mischungen aus den o. g. Stoffströmen.

Die Messverfahren werden in einer „Messvorschrift für die Strahlenschutzkontrolle zur Freigabe nach § 29 StrlSchV und zum Herausbringen von Gegenständen nach § 44 StrlSchV im Forschungszentrum Karlsruhe GmbH“ konkret beschrieben. Diese Messvorschrift wurde vom Sachverständigen positiv begutachtet. Aufgrund der Vorgaben aus dem erteilten Freigabebescheid ist der Sachverständige angehalten ca. 10 % der vom FZK durchgeführten Freimessungen stichprobenartig zu überprüfen. Um dieser Forderung nachkommen zu können, müssen alle freizugebenden Chargen eine Woche vorher beim Sachverständigen angemeldet werden. Im Jahre 2008 wurden 289 Vorgänge an HS zur Bearbeitung übergeben. Von diesen sind im Berichtzeitraum 193 Materialchargen von den Autoren in ihrer Eigenschaft als SSB freigegeben worden, 9 Anträge wurden zurückgezogen, 6 Chargen wurden als radioaktiver Abfall entsorgt, bei 81 dieser angemeldeten Chargen stellt sich aufgrund der Voruntersuchungen heraus, dass es sich nicht um radioaktive Stoffe im Sinne des § 29 StrlSchV handelt, die restlichen Chargen sind noch in Bearbeitung.

Sofern bei den Voruntersuchungen keine Aktivität erkannt wird, kann bei Materialien aus Überwachungsbereichen und Kontrollbereichen mit einer geringen Kontaminationswahrscheinlichkeit (Zone I und II der „Kleider- und Zonenordnung bei Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen“ des Forschungszentrums Karlsruhe) nach der Bewertung durch den SSB für die Freigabe auf ein Verfahren nach § 29 StrlSchV verzichtet werden.

Des weiteren verfügt das FZK seit 2007 über einen standardisierten Bescheid für die Freigabe zur Beseitigung von max. 1000 Mg/a Bauschutt, Bodenaushub, Betonbruch und Straßenaufbruch (E05/2006).

Die Freigabe erfolgt unter Einhaltung der Freigabewerte aus Anlage III Tab. 1 Spalte 9 StrlSchV.

Im Berichtsjahr wurden 73,65 Mg Materials auf diesem Pfad freigegeben.

5.6.2 Einzelfallverfahren

Im Berichtsjahr wurde dem FZK im Rahmen des Einzelfallverfahrens nachfolgend genannte Freigabebescheid erteilt:

E02/2007	„Uneingeschränkte Freigabe der Räume 036 und 145 im Gebäude 351“
E02/2008	„Uneingeschränkte Freigabe einer Bodenfläche (Parkplatzerweiterung) auf dem Gelände der HDB“
E04/2008	„Uneingeschränkte Freigabe der Räume 002, 003, 002 und 102 im Gebäude 351“.

Nach Durchführung der erforderlichen Freigabemessung durch Mitarbeiter des Strahlenschutzes sowie am 26.02.2008 durchgeführten Kontrollmessungen durch den vom UM beauftragten

Sachverständigen konnte am 20.03.2008 durch den zuständigen SSB die „Übereinstimmung“ nach § 29 (3) StrlSchV mit dem Bescheid E02/2007 festgestellt werden.

Nach Durchführung der erforderlichen Freigabemessung durch Mitarbeiter des Strahlenschutzes sowie am 14.07.2008 durchgeführten Kontrollmessungen durch den vom UM beauftragten Sachverständigen konnte am 27.09.2008 durch den zuständigen SSB die „Übereinstimmung“ nach § 29 (3) StrlSchV mit dem Bescheid E02/2008 festgestellt werden.

5.7 Raumluftüberwachung

E. Rückert-Kammerichs, C. Passarge, Chr. Wilhelm

Die Inkorporationsüberwachung im Jahr 2008 wurde gemäß der „Strahlenschutzanweisung des Sicherheitsbeauftragten zur Inkorporationsüberwachung“ des Forschungszentrums durchgeführt. Diese erfolgte gemäß der im Jahr 2007 in Kraft getretenen „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition“. Danach ist eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung nur notwendig, wenn zu besorgen ist, dass infolge von inkorporierten Radionukliden jährliche Körperdosen (50-Jahre-Folge-Dosis) von mehr als 1 mSv auftreten können. Durch tägliche Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz und bei einigen Einrichtungen zusätzlich durch einmal jährlich je eine Messung der Aktivität im Stuhl und in Urin wird nachgewiesen, dass im Forschungszentrum Karlsruhe für keine Person eine Erfordernis für die Ermittlung personenbezogener Werte der Körperdosis besteht.

5.7.1 Probenentnahme

Zur routinemäßigen Überwachung werden Aerosolsammler eingesetzt, die an repräsentativen Stellen in allen Bereichen mit potenziellen Raumluft-Kontaminationen installiert sind. Die Sammler saugen die Raumluft mit Durchsatzraten zwischen 25 m^3/h und 70 m^3/h über einen Aerosolfilter mit einem Durchmesser von 20 cm an. Die Filter werden arbeitstäglich oder wöchentlich gewechselt. Die Dateneingabe für das Messsystem in die SQL-Datenbank erfolgt mit einer Web basierenden Intranet-Anwendung, über die vor Ort der Luftdurchsatz, die Sammelzeit, der verwendete Atemschutz und die effektive Arbeitszeit zu den Raumluftfiltern eingegeben werden.

5.7.2 Probenauswertung

Im Jahr 2008 wurden 38 008 Filter mit Pseudokoinzidenzanlagen auf künstliche α- und β-Aktivität ausgemessen. Als untere Messschwelle wurde bei α-Aktivität 7 mBq/m^3 und bei der β-Aktivität 5 Bq/m^3 gewählt. Damit ist bei einem nach der Strahlenschutzverordnung angenommenen Jahres-Inhalationsvolumen von 2400 m³, das aber in der Praxis wegen kürzerer Aufenthaltszeiten weit unterschritten wird, eine α- und β-Aktivitätszufuhr nachweisbar, die 10 % des Grenzwertes der Teilkörperdosis Knochenoberfläche für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A – bezogen auf Pu-239, löslich, und Sr-90, löslich – entspricht. Dieser Grenzwert wurde im Berichtszeitraum in keiner Anlage des Forschungszentrums erreicht.

Konnte die Messschwelle von 7 mBq/m³ für die künstliche α-Aktivität aufgrund der auf den Filtern vorhandenen natürlichen Aktivität nicht erreicht werden, wird eine Nachmessung des betreffenden Filters am folgenden Tag durchgeführt. Dadurch ergibt sich eine Anzahl von Messungen die ca. 25 % größer ist als die Anzahl an Filter. Die Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration in der Raumluft ist in der nachfolgenden Grafik und Tabelle wiedergegeben. Als untere Grenze der Klasseneinteilung wurde wie in den Vorjahren 12 mBq/m³ gewählt.

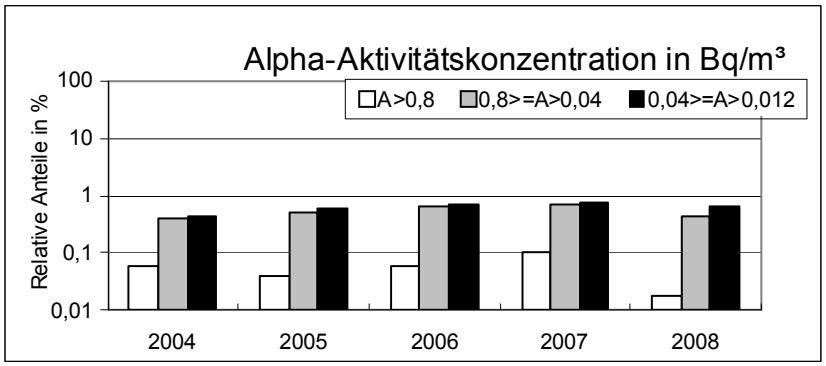


Abb. 5-3: Verlauf der Häufigkeitsverteilung der α-Aerosolaktivitätskonzentrationen in der Raumluft oberhalb der Messschwelle in den Jahren 2004 bis 2008

Aktivität	Aktivitätsgrenzen in Bq/m³			Anteil an der Gesamtzahl in %	
α-Aktivität		A >	0,8	0,02	(0,10)
	0,8	≥ A >	0,04	0,44	(0,69)
	0,04	≥ A ≥	0,012	0,68	(0,79)
		A <	0,012	98,86	(98,42)
β-Aktivität		A >	800	0	(0)
	800	≥ A >	40	0,00	(0,00)
	40	≥ A ≥	10	0,01	(0,01)
		A <	10	99,99	(99,99)

Tab. 5-6: Verlauf der Häufigkeitsverteilung der Aerosolaktivitätskonzentration in der Raumluft im Jahr 2008. Die in Klammern angegebenen Werte sind die des Vorjahres

5.8 Dichtheitsprüfungen

K. Schultze

5.8.1 Voraussetzungen

Die Abteilung Überwachung und Messtechnik hat die Aufgabe an umschlossenen Strahlern, die sich im Besitz des Forschungszentrums befinden, Dichtheitsprüfungen durchzuführen. Hierfür liegt der Hauptabteilung Sicherheit ein Entscheid des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13. November 2006 vor, der es erlaubt Dichtheitsprüfungen nach § 66 (4) Satz 1 StrlSchV an Strahlern, die sich im Besitz des Forschungszentrum befinden, selbst durchzuführen. Davon ausgenommen sind alle hochradioaktiven Quellen. Diese müssen von externen Gutachtern geprüft werden. Als Prüfgrundlage dient DIN 25426 Teil 4. Danach müssen alle umschlossenen Strahler oberhalb des 100-fachen der Freigrenze jährlich einer Dichtheitsprüfung unterzogen werden. Bei gasförmigen Strahlern und bei radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten bis zu 100 Tagen, kann auf die Durchführung der Dichtheitsprüfung verzichtet werden.

5.8.2 Probenentnahme

Das zu wählende Prüfverfahren wird gemäß DIN 25426 und den Gegebenheiten des Strahlers festgelegt. Als Prüfverfahren werden für die Strahler Wischprüfungen, Tauchprüfungen oder die Emanationsprüfung angewandt. Die Dokumentation der Festlegung und die Terminverfolgung erfolgt über das Buchführungsprogramm für radioaktive Stoffe - BURAST. Über dieses System

werden die Mitarbeiter vor Ort zur Sichtprüfung und Probenahme aufgefordert. Die Mitarbeiter kontrollieren die Strahler auf Schäden und tragen die Ergebnisse der Sichtprüfung in das Programm ein.

5.8.3 Probenauswertung

Die Proben werden je nach Strahlenart im Proportionalzähler (evtl. nach Eindampfen), durch γ-Spektroskopie oder durch Flüssigszintillationsmesstechnik ausgewertet. Die Anzahl der geprüften Strahler ist in Tab. 5-7 nach Nuklid und Institution sortiert aufgeführt. Im Berichtszeitraum wurde kein undichter Strahler gefunden.

	Cs-137	Am-241	Sr-90	Co-57	Cf-252	Fe55	Po-210	Pb-210	Co-60	Ba-133	Sm-151	Np-237	α-Gemisch	sonst. Gemisch	Summe
HS-KES	11	2	11		2			1				1			28
FTU	9	1	3		2			1							16
IK	1	8	3			1					1				14
HDB	5	4							1	1				1	12
HS-UEM	5	1											4		10
ITC-TAB	6	2													8
INT				6											6
MZFR	3		1												4
IMK-AAF		1					2								3
IMF II-FML	1														1
ISS						1									1
Summe	41	19	18	6	4	2	2	2	1	1	1	1	4	1	103

Tab. 5-7: Anzahl der im Jahr 2008 durchgeführten Dichtheitsprüfungen an umschlossenen Strahlern

5.9 Sicherheitsrelevante Instrumentierung, Wartung und Instandhaltung

5.9.1 Aufgaben

B. Reinhardt

Der Bestand an elektronischen Strahlenschutzmessgeräten setzt sich aus einer großen Anzahl von Dosisleistungs- und Kontaminationsmonitoren, aus Messplätzen zur Aktivitätsbestimmung und ortsfesten Anlagen zur Raum- und Fortluftüberwachung zusammen.

Eingangskontrollen und Gerätetests werden bei neuen Geräten durchgeführt und bei Bedarf werden Prüfanweisungen erstellt.

Kommerziell nicht erhältliche Geräte für den Eigenbedarf der Hauptabteilung Sicherheit werden entwickelt. Außerdem erfolgen Umbauten und Anpassungen von Messsystemen.

5.9.2 Wartung und Reparatur von Strahlenschutzmessgeräten, Eichfristverlängerung

J. Burkhardt, M. Hauser

Zur Instandhaltung von den kontinuierlich messenden Raumluft- und Fortluftüberwachungsanlagen, sowie Ortdosisleistungs-Messstellen und Handgeräte waren tägliche Reparatureinsätze notwendig.

Ein Teil der anfallenden Reparaturen an Strahlenschutzmessgeräten ist vertraglich an eine Fremdfirma vergeben. Bei diesen Reparaturarbeiten wurde, wenn notwendig, Hilfestellung geleistet.

Wenn eine Reparatur nicht möglich war, musste das Gerät dem Hersteller überstellt oder entsorgt werden.

Um die Funktionsweise von Strahlenschutzmessgeräten innerhalb der zulässigen Toleranzen zu gewährleisten, mussten ca. 800 Dosis- bzw. Dosisleistungsmessgeräte halbjährlich einer Eichfristverlängerung zugeführt werden. Der damit verbundene administrative Aufwand war nicht unerheblich.

5.9.3 Entwicklung mechanischer und elektronischer Komponenten

F. Arend, J. Burkhardt, P. Simon

Für die Raumluftüberwachung in Kontrollbereichen werden bei der Hauptabteilung Sicherheit häufig Raumluftsammler eingesetzt. Zehn solcher Geräte wurden im Berichtszeitraum hergestellt.

Im Zusammenhang mit einer Doktorarbeit und der Akkreditierung des „Lungcounter“ wurden Winkel- und Längenmesssysteme für die Phoswich - Detektoren installiert. Die Messsysteme sind mit der Datenverarbeitung des Messlabors gekoppelt.

Für die anstehende Akkreditierung der Photonenbestrahlungsanlage des Kalibrierlabors der Hauptabteilung Sicherheit war es erforderlich den zentralen Messwagen, der zur Aufnahme unterschiedlicher Prüflinge dient, zu überarbeiten. Dabei war es das Ziel, ein Messsystem zur genauen und reproduzierbaren Positionierung der Prüflinge in die vorhandene Bestrahlungsanlage zu integrieren.

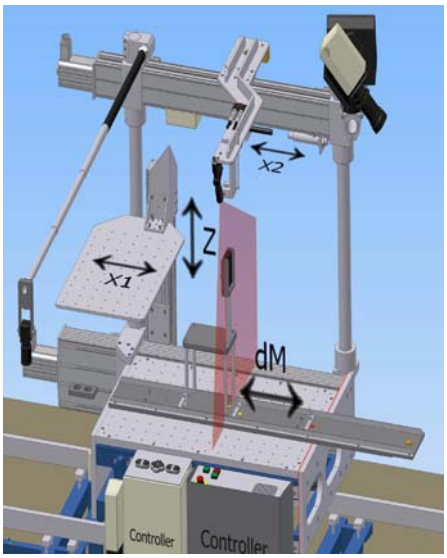


Abb. 5-4: Zentraler Messwagen der Photonenbestrahlungsanlage

Im Zusammenhang mit den Umbauarbeiten erfolgte eine umfangreiche Wartung aller mechanischen Komponenten der Photonenbestrahlungsanlage. Die komplette Quellenablaufsteuerung wurde erneuert, wobei die bisher separat betriebene Bestrahlungsquelle 4 integriert wurde. Die Entwicklung und Realisierung der Quellenablaufsteuerung erfolgte in eigener Regie.

Zur Blendensteuerung (Shutter) der Röntgenbestrahlungsanlage kam eine von den Auszubildenden des Forschungszentrums Karlsruhe gefertigte und programmierte SPS (Software programmierte Steuerung) zum Einsatz.

Für die bei der Röntgenbestrahlungsanlage eingesetzten Kontrollmessgeräte (Dosimentoren des Typs IQ4) wurden Schnittstellen (RS 232) entwickelt und installiert, um die gemessenen Dosiswerte an das zentrale Datenerfassungssystem zu übermitteln.

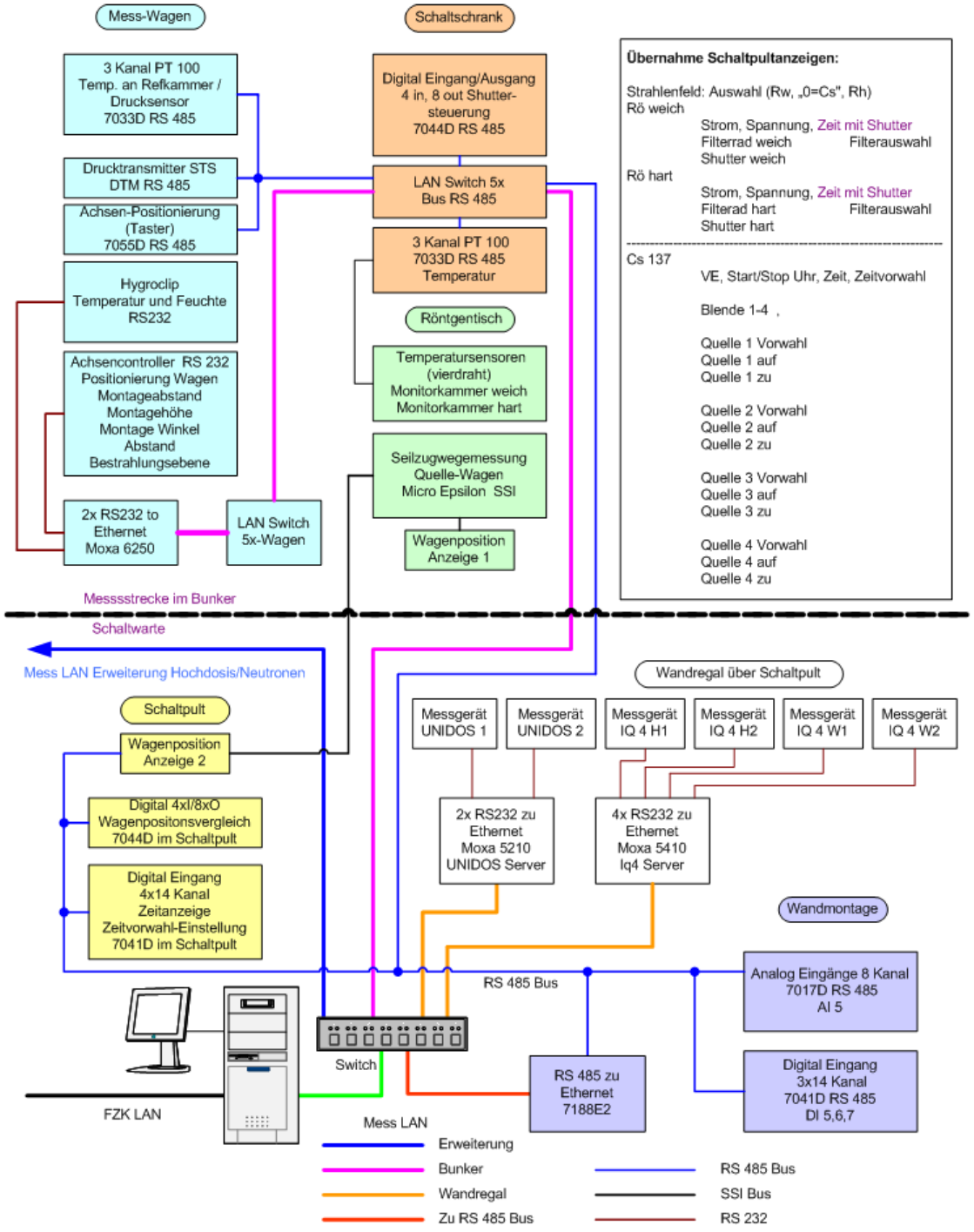


Abb. 5-5: Übersicht Datenerfassung in der Kalibrieranlage

Für die wiederkehrenden Prüfungen des Datenerfassungssystems war es notwendig eine spezielle Wartungssoftware zu entwickeln.

Für den Betrieb und zur Dokumentation der neuen Anlagenkomponenten wurden unfangreiche Standardarbeitanweisungen und Hilfsmittelspezifikationen erstellt und im Qualitätsmanagementsystem hinterlegt.

5.9.4 Konventionelle Überwachungssysteme

A. Werner

Die Alarmzentrale (AZ) ist ein Teil der Sicherheitsorganisation des Forschungszentrums Karlsruhe. Sie ist rund um die Uhr besetzt und zentrale Anlaufstelle für alle sicherheitsrelevante Alarmierungsfunktionen. Sicherheitsrelevante Störungen und Meldungen sind solche, bei denen der Eintritt eines Schadensereignisses zu befürchten ist, die das Eingreifen der Sicherheitsdienste des Forschungszentrums erforderlich machen. Nicht sicherheitsrelevante Alarmierungsfunktionen werden auf die Serviceleitstelle Bereich Technische Infrastruktur (BTI) aufgeschaltet, sofern lokale Maßnahmen innerhalb der Organisationseinheit nicht ausreichend sind.

Eine technische Störung, die von einer Einrichtung auf dem Gelände des Forschungszentrums zur AZ übertragen wird, führt dort zur Generierung eines rechnergestützten Aktionsplanes mit Handlungsanweisungen. Bedingt durch organisatorische Änderungen hinsichtlich der Zuständigkeit bei technischen Störungen mussten Aktionspläne in der elektronischen Datei überarbeitet und in Papierform – als Redundanz bei einem evtl. Ausfall der Elektronik - hinterlegt werden.

Als behördliche Auflage und zur Erhaltung der technischen Funktion der Alarmzentrale des Forschungszentrums waren umfangreiche Prüfkalender abzuarbeiten, die Dokumentation der Anlage zu aktualisieren und die Vorgaben für erforderliche Neuinstallationen zu erstellen.

Die Anpassung der Prüfanweisungen für wiederkehrende Prüfungen an technischen Objektsicherungseinrichtungen wurde fortgeführt und die überarbeiteten Unterlagen dem von der Genehmigungsbehörde beauftragten Gutachter bei der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH vorgelegt.

Die Technik der Alarmzentrale wird stetig ausgebaut und optimiert.

Das neue Aufzug-Notrufsystem wurde in Betrieb genommen und mit neuen Aufzug-Notrufsprechstellen beschaltet. Der Betrieb des alten und neuen Systems erfolgt parallel, wobei Neubaumaßnahmen direkt und reparaturbedingte Umbaumaßnahmen sukzessiv mit dem neuen System verbunden werden.Momentan sind 57 Sprechstellen (54 altes - und 3 neues System) in der AZ aufgeschaltet.Das Building Integration System (BIS) der AZ wurde um die sogenannte ListControl Funktion erweitert, um die Meldungsflut bei Massenstörungen effektiver abarbeiten zu können und die Weitergabe an BTI zu erleichtern. (ListControl: bietet eine Funktion zum Drucken der Meldungsliste.)

Bedienelemente und abgelegte Festtexte für sicherheitsrelevante Alarmdurchsagen der Elektroakustischen Anlage (ELA) der Alarmzentrale wurden überarbeitet.

Der Leitstellentisch wurde aufgrund der neuen Bedienelemente zum Aufzug-Notrufsystem und der Anpassungen zur ELA modifiziert.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit des Telefonnetzes der AZ wurden die Telefonapparate von Platz 1 und 2 auf unterschiedliche Telefonknoten verteilt. Darüber hinaus wird ein Ausfall der Telefonanlage, auch von Teilfunktionen, der Alarmzentrale automatisch gemeldet. Die Alarmzentrale aktiviert die Bereitschaftsdienste von BTI zur zeitnahen Entstörung.

5.10 Physikalisches Messlabor

Chr. Wilhelm

Das Physikalische Messlabor ist gemäß DIN EN ISO/IEC17025 akkreditiert und es fand auch dieses Jahr ein Überprüfungsaudit durch den externen Gutachter statt (Kap. 10.2.1). Die vollständige Angabe des akkreditierten Umfangs findet sich unter folgendem Link: „http://www.dap.de/anl/PL385901.pdf“.

5.10.1 Aufgaben

Im „Physikalischen Messlabor“ werden alle Messungen an Proben für die Raumluftüberwachung, an Proben zur Dichtheitsprüfung sowie alle Messungen zur Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft durchgeführt. Ebenso erfolgen hier alle Messungen an Umweltproben, an Proben für die Arbeitsplatzüberwachung und an Proben zur Abwasserüberwachung. Für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen werden α- und γ-spektrometrische Messungen, sowie die Bestimmung von Betastrahlern mittels Flüssigszintillationsmessung durchgeführt. Einen Überblick über die Anzahl an Proben und der daran durchgeführten Analysen aus den einzelnen Arbeitsgebieten gibt die Tab. 5-8 wieder.

Die Gruppe „Physikalisches Messlabor“ ist darüber hinaus zuständig für die Überwachung radioaktiver Stoffe in den Abwassersystemen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe (Kap. 7.2.2.2). Diese Aufgabe umfasst sowohl die Umsetzung der Auflagen der strahlenschutzrechtlichen Genehmigung in ein Überwachungskonzept, als auch die Durchführung der Aktivitätsmessungen einschließlich der Entscheidung über die Weiterverarbeitung der Abwässer.

5.10.2 Messsysteme

S. Kaminski, C. Passarge

Zur Erfüllung seiner Aufgaben unterhält das „Physikalische Messlabor“ die verschiedensten Messgeräte zur Radioaktivitätsmessung, die mit von Kalibrierdiensten zertifizierten Radionuklidstandards kalibriert wurden. Zur Sicherstellung der Richtigkeit der Messergebnisse werden umfangreiche laborinterne und externe qualitätssichernde Maßnahmen getroffen. Das Labor nimmt an verschiedenen Ringversuchen teil, so dass alle Messverfahren mindestens einmal jährlich durch Ringversuche überprüft werden. Die Vorgaben aus allen Regelwerken der verschiedenen Arbeitsgebiete werden erfüllt.

5.10.2.1 Alpha-Beta-Messtechnik

Zur Messung von Alpha- und Beta-Gesamtaktivitäten werden sieben Großflächen-Proportionalzähler mit Probenwechslern und Pseudokoinzidenz-Elektronik betrieben. An diesen Messplätzen werden die Kontroll- und Bilanzierungsmessungen von Aerosolfiltern zur Fortluftüberwachung sowie die Messungen von Raumluftfiltern (Kap. 7.2.1.2) durchgeführt.

Neben diesen Detektoren wird zur Durchführung von Alpha- und Beta-Gesamtaktivitätsmessungen an Abwasser und Umgebungsproben ein Messsystem betrieben, in dem sechs Großflächen-Proportionalzähler integriert sind. Die Proportionalzähler arbeiten einheitlich mit einem integrierten Elektronikmodul (Serial-Micro-Channel). Ein zentraler Rechner steuert über eine serielle Schnittstelle die Messplätze und dient zur Erfassung der Rohdaten und zu deren Auswertung. Die Datenablage erfolgt in Datenbanken auf einem zentralen Server.

5.10.2.2 Gammaspektrometrie

Für die Gammaspektrometrie stehen 18 Reinstgermanium-Detektoren zur Verfügung, deren Auswerteelektronik über ein Messnetz miteinander verbunden ist. Es handelt sich um verschiedene Detektor-Typen: Niederenergie-Detektoren für den Energie-Bereich von 15 keV bis 150 keV, Hochenergie-Detektoren für den Energie-Bereich von 40 keV bis 2000 keV, kombinierte Gamma-X-Detektoren für den Energiebereich von 25 keV bis 2000 keV. Zwei der Germanium-Detektoren sind mit Probenwechslern ausgerüstet. Die Auswertung in der Standardroutine erfolgt mit dem Programmpaket Genie 2000 der Firma Canberra. Vier Detektoren wurden im Werk von Canberra charakterisiert, so dass es an diesen Detektoren möglich ist, mit Hilfe der zugehörigen Software mathematische Effizienzkalibrierungen durchzuführen. Vorteile dieses Verfahrens sind, dass für die Wirkungsgradkalibrierung keine radioaktiven Präparate eingesetzt werden müssen und dass Geometrien nahezu jeder Form, Material und Dichte kalibriert werden können.

5.10.2.3 Alphaspektrometrie

Für die Alphaspektrometrie stehen 18 Halbleiter-Detektoren zur Verfügung. Die Alphaspektrometrie wird mit dem integrierten System Alpha-Analyst betrieben. Die Alphaspektrometrie ist in das gleiche Messnetz wie die Gammaspektrometrie integriert und auch die Auswertung erfolgt mit dem selben Programmpaket.

Für Übersichtsmessungen an Proben mit erhöhter Aktivität steht zusätzlich ein Alphaspektrometrie-Messplatz mit Halbleiterdetektor und großer Vakuum-Probenkammer zur Verfügung.

Außerdem werden für Abwasser- und Umgebungsproben zwei Gitterionisationskammern betrieben, die in das gleiche Messnetz wie die Halbleiterdetektoren integriert sind.

Messzweck	Anzahl der Proben	Anzahl der durchgeführten Messungen				
		α/β	Flüssigszintillation		α-Spektrometrie	γ-Spektrometrie
			Einzel-Nuklide	Spektrometrie		
Abwasserüberwachung						
- Innerbetrieblich	653	648	334	31	4	577
- Ableitungen	62	34	58	4	0	66
Umgebungsüberwachung	590	253	290	25	61	80
Überwachung der Fortluft	2768	1080	930	40	0	694
Überwachung der Raumluft	38083	38008	0	0	0	126
Dichtheitsprüfungen	103	0	0	28	0	75
Auftragsmessungen						
- Fortluftüberwachung für WAK	255	0	2	2	11	454
- Fortluftüberwachung für ZAG	102	102	0	0	0	102
- Interne Aufträge	2518	20	750	50	286	1639
- Externe Aufträge	66	0	40	8	0	50
Messungen für Arbeitsplatzüberwachung	50	0	0	0	30	20
Sondermessungen	27	0	0	0	0	27
Entwicklungsarbeiten	-	409	500	262	737	8
Qualitätssicherung	-	2091	2750	100	2010	704
Ringversuche	6	8	0	0	47	33

Tab. 5-8: Art und Anzahl der Proben sowie der 2008 in der Gruppe „Physikalisches Messlabor“ durchgeführten Einzelmessungen

5.10.2.4 Flüssigszintillationsspektrometrie

Für die Messung der reinen Beta-Strahler H-3, C-14, S-35, P-32, Ni-63 bzw. des K-Einfangstrahlers Fe-55 stehen drei Flüssigszintillationsspektrometer der Fa. Perkin Elmer Life Science

zur Verfügung. Um die geforderten niedrigen Erkennungsgrenzen in annehmbarer Messzeit zu erreichen, können die Geräte in einem speziellen Low-Level-Modus betrieben werden. Eines der Geräte ist zur Reduzierung des Untergrundes zusätzlich mit einer aktiven Abschirmung ausgerüstet. Zusätzlich wurde in diesem Jahr ein LSC der neusten Generation mit Triple-to-Double-Technik beschafft. Dieses Gerät ermöglicht es auch ohne Wirkungsgradkalibrierung die Aktivität von reinen Beta-Strahlern zu bestimmen.

Die Rohdaten der Geräte werden von PCs übernommen und verrechnet. Die Ergebnisse werden protokolliert. Die Daten werden zusätzlich in Datenbanken auf einem zentralen Server abgelegt. Mit dem in der Gruppe entwickelten Programm „LSC-Messungen“, das die Übernahme der Messwerte in die PCs verwaltet, können auch Spektren dargestellt und bearbeitet werden. Ebenso bietet dieses Programm Entfaltungsmethoden, um bei komplexen Multinuklidspektren Einzelaktivitäten abzuschätzen.

Im Rahmen der internen Qualitätssicherung werden für jeden Flüssigszintillations-Spektrometer monatlich die Wirkungsgrade für H-3 und C-14 für verschiedene Cocktails überprüft, indem die Aktivitäten der jeweiligen Präparate bestimmt werden. In Abb. 5-6 ist beispielhaft der Verlauf der Aktivität für H-3 mit InstaGel-Cocktail am Packard_1 über das letzte Jahr dargestellt. Man erkennt, dass in dieser Zeit alle Messungen um den Sollwert schwanken und es zu keiner Verschlechterung kam.

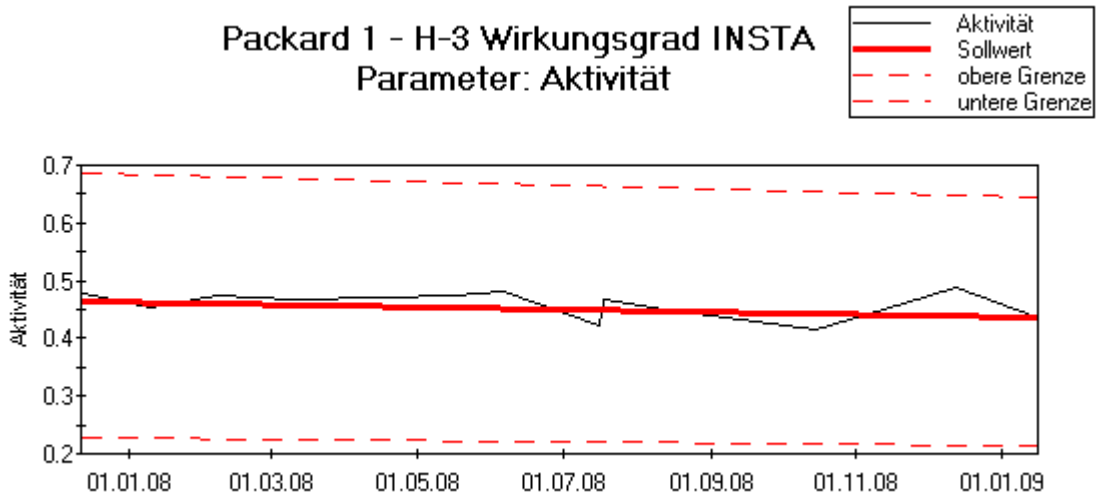


Abb. 5-6: Interne Qualitätssicherung am Packard_1 für H-3 mit InstaGel-Cocktail im Jahr 2008

5.11 Chemische Analytik

5.11.1 Aufgaben

M. Pimpl

Die Gruppe „Chemische Analytik“ führt die nuklidspezifischen Bestimmungen für die Emissions- und Immissionsüberwachung des Forschungszentrums aus, bei denen radiochemische Analysenverfahren zur Probenpräparation notwendig sind. Darüber hinaus werden radiochemische Analysen für die Bereiche der „Arbeitsplatzüberwachung“ zur Bestimmung der Nuklidvektoren oder bei Zwischenfällen durchgeführt. Weiterhin werden nuklidspezifische Analysen durchgeführt, die im Rahmen der Freigabe radioaktiver Reststoffe aller Art erforderlich sind.

Für die Fortluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung des Forschungszentrums werden verschiedene Radionuklide im Low-level-Bereich mittels radiochemischer Analysenverfahren aus verschiedenen Probenmaterialien wie Aerosolfiltern, Pflanzen, Böden, Sedimenten und Wasser

abgetrennt und nuklidspezifisch gemessen. Routinemäßig werden die Radionuklide Pu-238, Pu-239/240, Pu-241, Sr-89, Sr-90, C-14 und K-40 erfasst.

Zur Freigabe von Materialien nach § 29 StrlSchV und zur Wiederverwendung nach § 44 StrlSchV werden Bestimmungen von U-238, U-235, U-234, Pu-238, Pu-239/240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244, Sr-90, C-14, H-3, Fe-55 und Ni-63 mit niedrigen Nachweisgrenzen in allen für Freigabemessungen relevanten Probenmaterialien durchgeführt. Auch Th-228, Th-230 und Th-232 können bei Bedarf radiochemisch bestimmt werden, ebenso Ra-226, Pb-210 und Po-210. Wie schon im Vorjahr war auch in 2008 der Aufwand für radiochemische Analysen zur Freigabe deutlich höher als der für interne Messungen für Strahlenschutzaufgaben. Die Anzahl an Analysen zur Ermittlung des Nuklidvektors einer Anlage oder eines Instituts durch Bestimmung des Aktivitätsgehaltes aller interessierenden Radioisotope in einer Stichprobe oder in mehreren repräsentativen Proben ist in 2008 weiter stark zurückgegangen.

Zu den Routineaufgaben der Gruppe „Chemische Analytik“ gehören des Weiteren die Beschaffung der benötigten radioaktiven Stoffe, die Herstellung von Kalibrierstandards und die Bilanzierung des Bestands an radioaktiven Stoffen für die Gruppen „Chemische Analytik“ und „Physikalisches Messlabor“ der Abteilung HS-ÜM, ab 01.08.2008 HS-KES. Weiterhin werden außer begleitenden Arbeiten zur Qualitätssicherung zusätzlich auch Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung bestehender Verfahren und zur Einführung neuer Methoden geleistet.

Neben diesen Routineaufgaben werden nuklidspezifische Bestimmungen gegen Berechnung auch für externe Auftraggeber durchgeführt. Zur Überprüfung von Geräten und Methoden hat die Gruppe auch 2008 an verschiedenen Ringversuchen und Vergleichsmessungen teilgenommen, wobei durchweg gute Ergebnisse erzielt werden konnten.

5.11.2 Radiochemische Arbeiten

M. Pimpl, A. Hager, M. Kirsch, U. Malsch , P. Perchio, P. Steinbach, S. Vater, D. Vilgis

Die im Laufe des Jahres 2008 insgesamt in der Gruppe „Chemische Analytik“ durchgeführten Laborarbeiten sind in Tab. 5-9 aufgelistet.

Abb. 5-7 vermittelt einen Überblick über die Verteilung des zeitlichen Aufwands für die 2008 angefallenen radiochemischen Arbeiten.

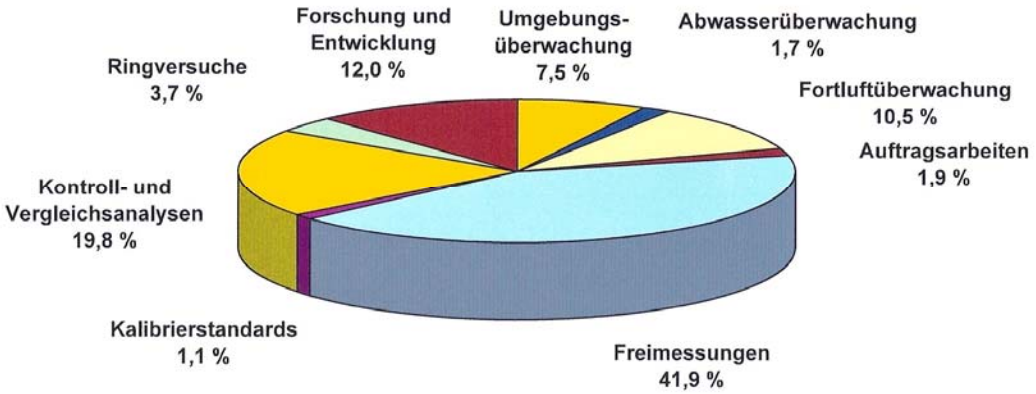


Abb. 5-7: Aufteilung der radiochemischen Arbeiten nach Zeitaufwand im Jahr 2008

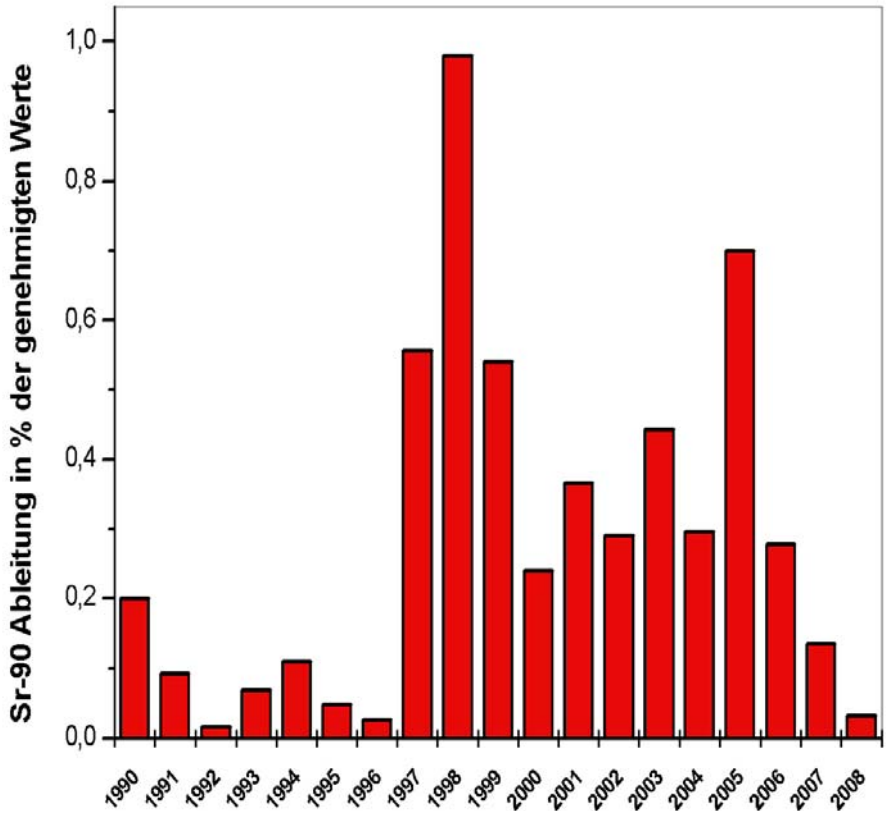


Abb. 5-8: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum jährlich abgeleiteten Aktivität an Sr-90 von 1990 bis 2008 in % der jeweils genehmigten Abgaben

Tätigkeitsgebiet	Art der Analysen	Anzahl der Bestimmungen
Umgebungsüberwachung	Pu-238, Pu-239/240	16
	Sr-89, Sr-90	9
	K-40	81
Abwasserüberwachung	Am-241	1
	Sr-89, Sr-90	4
	C-14	4
Fortluftüberwachung	C-14	255
	Pu-238, Pu-239/240, Pu-241	3
	Sr-89,Sr-90	5
Freimessungen (Freigaben nach § 29 oder zur Weiterverwendung nach §44 StrlSchV)	U-238, U-235, U-234	40
	Pu-238, Pu-239/240, Pu-241	44
	Sr-90	35
	Fe-55, Ni-63	je 25
	C-14	5
	H-3 (Austausch / Ausheizen)	604 / 9

Tätigkeitsgebiet	Art der Analysen	Anzahl der Bestimmungen
Kalibrierstandards	Po, Th, U, Pu, Am, Cm	20
	Sr, Fe, Ni, Ra	15
Kontroll- und Vergleichsanalysen	Sr-89, Sr-90	7
	Pu (α-Strahler), Pu-241	16
	U (α-Strahler)	72
	Th (α-Strahler)	67
	Po-210	4
	C-14 (Fortluft)	6
	Fe-55, Ni-63	je 7
	Blindelektrolysen	569
Ringversuche	U (α-Strahler)	5
	Pu (α-Strahler)	1
	Am/Cm	6
	Sr-89, Sr-90	5
	Fe-55, Ni-63	je 4
Entwicklungsarbeiten	Th (α-Strahler)	138
	U (α-Strahler)	56

Tab. 5-9: Arbeiten der Gruppe „Chemische Analytik“ im Jahr 2008

Im Berichtszeitraum wurde wöchentlich die Fortluft der Verbrennungsanlage der HDB (Bau 536), der LAW-Eindampfanlage (Bau 545), der Anlagen zur Gerätedekontamination und Verschrottung der HDB (Bau 548 Ost und West) und des MZFR auf C-14 überwacht. Aus der Verbrennungsanlage wurden im gesamten Jahr 2008 nur 3,8 % der nach Abluftplan zulässigen C-14-Ableitungen von 1,4 TBq emittiert, aus allen anderen überwachten Anlagen wurden 2008 keine messbaren C-14-Aktivitäten mit der Fortluft abgegeben.

Zur Bilanzierung der mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe wurden in Quartalsmischproben aus den Endbecken der Kläranlage Sr-Isotope sowie C-14 bestimmt. Wie im Vorjahr wurden auch im Jahr 2008 in den Abwassermischproben keine messbaren Konzentrationen an C-14 gefunden. Die Erkennungsgrenze lag für C-14 bei 1,4 Bq/l. Die Sr-89-Aktivitätskonzentration lag in allen 4 Quartalsproben unter den erreichten Erkennungsgrenzen, die zwischen 0,023 und 0,024 kBq/m³ lagen.

Nur für Sr-90 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,04 und 0,16 kBq/m³ gemessen. Im Jahr 2008 wurden insgesamt 4,05 MBq Sr-90 mit dem Abwasser abgeleitet. Die Ableitung von Sr-90 mit dem Abwasser liegt bei 0,033 % der genehmigten Ableitungen von 3 GBq und ist auch 2008 deutlich geringer als in den Jahren 1997-1999, wie aus Abb. 4-2 ersichtlich ist.

Zur Überwachung der Plutoniumkonzentrationen der bodennahen Luft wurden an den Aerosolsammelstellen Messhütte "Südwest", Messhütte "Nordost" und "Forsthaus" Quartalsproben gesammelt, wobei Erkennungsgrenzen erreicht wurden, die zwischen 0,04 und 0,06 µBq/m³ lagen. An allen 4 Aerosolsammelstellen wurden in allen 4 Quartalsproben nur Werte unter den Nach-

weisgrenzen ermittelt. Die erreichten Nachweisgrenzen lagen dabei zwischen 0,06 und 0,09 µBq/m³ sowohl für Pu-238 als auch für Pu-239/240.

Auch 2008 wurden, wie schon in 2007, nur sehr wenige externe Auftragsarbeiten, die nach einer aufwandsbezogenen Gebührentabelle in Rechnung gestellt werden, durchgeführt. Außer den vierteljährlich anfallenden Sr-89/90-Analysen von Fortluftfiltern für das Hochtemperatur-Kernkraftwerk Hamm wurden zusätzlich nur einzelne Analysen gegen Verrechnung durchgeführt.

5.12 In-vivo Messlabor

B. Breustedt

Das In-vivo Messlabor der Abteilung Kompetenzerhalt im Strahlenschutz ist für die personenbezogene Inkorporationsüberwachung durch Direktmessung der Körperaktivität zuständig. Bei der Messung der Körperaktivität stehen im Ganzkörperzähler Cs-137 oder Co-60 und im Teilkörperzähler in Lunge, Leber und Skelett die Aktiniden im Vordergrund. In erster Linie ist das In-vivo Messlabor für die Eigenüberwachung des Forschungszentrums sowie für die Überwachung der auf dem Gelände des Forschungszentrums angesiedelten Institutionen zuständig. Darüber hinaus führt es auch Messungen für externe Auftraggeber (Industrie, Berufsgenossenschaften, Euratom) durch.

Außerdem beschäftigt sich das In-vivo Messlabor mit der Verbesserung der Messverfahren zur internen Dosimetrie. Im Fokus steht hierbei die Simulation des Strahlentransportes anhand von stochastischen Modellen - gegenwärtig wird das Computerprogramm MCNP5 (Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5) verwendet - und von Voxel-Phantomen.

5.12.1 Routine- und Sondermessungen

U. Mohr, G. Cordes, N. Dollt, B. Breustedt

Das In-vivo Messlabor betreibt einen Ganzkörperzähler und verschiedene Teilkörperzähler zum gammaspektroskopischen Nachweis von Radionukliden im menschlichen Körper. Der Ganzkörperzähler besteht aus vier NaI(Tl)-Detektoren, die paarweise oberhalb und unterhalb der zu messenden Person angeordnet sind. Mit dieser Messanordnung können in erster Linie Spalt- und Aktivierungsprodukte mit Photonenenergien zwischen 100 keV und 2000 keV nachgewiesen werden. Die verschiedenen Teilkörperzähler umfassen unter anderem drei 8"-Phoswich-Detektoren und vier HPGe-Sandwich-Detektoren. Mit ihnen können u. a. niederenergetischer Photonenstrahler, wie z. B. I-125, Pb-210 und Am-241, nachgewiesen werden. Die Messgeometrie richtet sich hierbei nach der Art und der Lage der Nukliddeposition im Körper. So werden bei kurz zurückliegenden Inkorporationen hauptsächlich Messungen an der Lunge durchgeführt, während bei länger zurückliegenden Inkorporationen darüber hinaus auch Messungen an der Leber sowie am Kopf und an den Knien der Probanden durchgeführt werden. Für räumlich eng begrenzte Nukliddepositionen steht außerdem auch ein kleiner 0,8" Phoswich-Detektor zur Verfügung.

Auch im Jahr 2008 nahm das In-vivo Messlabor wieder erfolgreich am Ringversuch des Bundesamtes für Strahlenschutz teil. Die Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz unterstützt die behördlich bestimmten Messstellen bei der Qualitätssicherung durch jährlich angebotene Ringversuche. Die Messstellen sind nach § 41 Abs. 8 StrlSchV verpflichtet im Rahmen ihrer Qualitätssicherung an diesen Ringversuchen teilzunehmen. Gleichzeitig stellen die angebotenen Ringversuche eine Chance für die Messstellen dar ihre benutzten Anlagen zu überprüfen. Der Ringversuch besteht jeweils aus zwei Teilen. Einem praktischen Teil, bei diesem müssen diverse Nuklide und deren Aktivität in einem Phantom bestimmt werden und einem theoretischen Teil, bei diesem muss anhand von Fallbeschreibungen eines fiktiven Falles die Dosis bestimmt werden. In Kapitel 6.4.1.1 wird der Ringversuch näher beschrieben.

Die Tabellen Tab. 5-10 und Tab. 5-11 und vermitteln einen Überblick über die im Jahre 2008 mit den Ganz- bzw. Teilkörperzählern durchgeführten Personenmessungen und ihre Verteilung auf die verschiedenen Institutionen.

Mit dem G a n z k ö r p e r z ä h l e r wurden insgesamt 1530 Personen (ohne Referenzpersonen) untersucht. Ein Teil dieser Personen wurde mehrmals untersucht, so dass sich die Gesamtanzahl der Ganzkörpermessungen auf 1933 beläuft. Hierbei handelte es sich zum weitaus überwiegenden Teil um Messungen im Rahmen der routinemäßigen Inkorporationsüberwachung. Etwa 25,8 % der Ganzkörpermessungen wurden für das Forschungszentrum selbst durchgeführt, wobei es sich zum größten Teil um Eingangs- bzw. Ausgangsmessungen von Fremdfirmenmitarbeitern handelte. Die übrigen Ganzkörpermessungen erfolgten im Auftrag der auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe angesiedelten Institutionen (Institut für Transurane (26,3 %) und Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (37,0 %) sowie im Auftrag externer Institutionen (10,9 %).

Institution	Anzahl der überwachten Personen	Anzahl der routinemäßigen Messungen						Anzahl der Inkorporationsmessungen aus besonderem Grund	
		Eingang		Ausgang		Wiederkehrende Routine			
		ohne Befund	mit Befund	ohne Befund	mit Befund	ohne Befund	mit Befund	ohne Befund	mit Befund
BTI	4	-	-	4	-	-	-	-	-
HS	3	-	-	1-	-	-	2	5	6
IMF II	5	3	-	3	-	-	-	-	-
INE	2	-	-	2	-	-	-	-	-
ITC-WGT	2	-	-	2	-	-	-	-	-
Summe Bereich Forschung	16	3	-	11	-	-	2	5	6
HDB	159	134	4	150	1	2	-	11	1
KNK	68	54	3	68	9	3	-	1	-
MZFR	40	27	-	29	-	1	-	-	-
Summe Bereich Stilllegung	267	215	7	247	10	6	-	12	1
ITU	368	108	2	151	5	213	7	3	-
WAK	671	4	-	169	8	522	11	-	-
Fremdauftrag	208	-	-	-	-	194	11	3	-
Summe Sonstige	1247	112	2	320	13	929	29	3	-

Tab. 5-10: Anzahl der Personenmessungen mit dem Ganzkörperzähler im Jahr 2008 (ohne Referenzmessungen und Messungen zur Qualitätssicherung)

Bei 44 Personen (etwa 2,9 %) lag die Cs-137-Körperaktivität über der Erkennungsgrenze für beruflich bedingte Cs-137-Körperaktivitäten, allerdings wurde in vielen dieser Fälle nach Auskunft der Probanden Wildbret oder Pilze verzehrt. Bei 10 Personen (16 Messungen) wurden Inkorporationen von Co-60, sowie in zwei Fällen I-131, in je einem Fall Y-88 sowie Tl-201 und Tl-202 nachgewiesen. In der Mehrzahl der Fälle handelte es sich um länger zurückliegende Aktivitätszufuhren, die bereits bei früheren Messungen festgestellt wurden.

Alle festgestellten Aktivitäten lagen unter der Interpretationsschwelle nach der „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle“.

Neben den genannten Überwachungsmessungen wurden regelmäßige Messungen zur Ermittlung der Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe vorgenommen (vgl. Kap. 5.12.2).

Mit dem T e i l k ö r p e r z ä h l e r wurden insgesamt 285 Personen untersucht. Ein Teil dieser Personen wurde mehrmals untersucht, so dass sich die Gesamtanzahl der Messungen auf 337 beläuft. Die Messungen wurden für verschiedene Institutionen des Forschungszentrums (3,5 %), für das Institut für Transurane (50,9 %) sowie im Fremdauftrag für andere Firmen bzw. Institutionen (44,8 %) durchgeführt. Bei etwa 3,5 % der Teilkörpermessungen handelte es sich um Untersuchungen aus besonderem Grund.

Institution	Anzahl der überwachten Personen	Anzahl der routinemäßigen Messungen			Anzahl der Inkorporationsmessungen aus besonderem Grund
		Eingang	Ausgang	wiederkehrende Routine	
HS	10	-	-	-	11
Summe Bereich Stilllegung	10	-	-	-	11
ITU	114	57	75	16	3
Fremdauftrag	171	-	-	173	1
Summe Sonstige	285	57	75	189	4

Tab. 5-11: Anzahl der Personenmessungen mit den Teilkörperzählern im Jahr 2008 (ohne Messungen zur Qualitätssicherung)

Messung	Ganzkörperzähler	Teilkörperzähler	
		8"-Phoswich	HPGe-Sandwich
Eingang	339	57	-
Ausgang	602	75	-
Routine	764	16	-
Besond. Grund	30	15	3
Fremdauftrag	212	174	-
Referenz	320	1	-
Nulleffekt	74	55	1
Materialproben	6	5	-
Kalibrierspektren	19	160	4
Summe	2366	558	8

Tab. 5-12: Anzahl aller Messungen mit Ganz- und Teilkörperzählern im Jahr 2008(ohne tägliche Funktionskontrollmessungen)

Zur Q u a l i ä t s s i c h e r u n g wurden zahlreiche Kalibriermessungen, Referenzmessungen sowie Nulleffektmessungen durchgeführt. Mit Ausnahme der täglich erfolgenden Energiekalibrierungen sind alle Messungen in Tab. 5-12 aufgelistet. Die Gesamtanzahl aller im Jahr 2008 durchgeführten Messungen beläuft sich auf 2932.

5.12.2 Cs-137-Referenzmessungen

U. Mohr, G. Cordes, N. Dollt, B. Breustedt

Seit Inbetriebnahme des ersten Ganzkörperzählers im Jahre 1961 werden regelmäßige Messungen zur Bestimmung der Cs-137-Körperaktivität an einer Referenzgruppe nicht beruflich strahlenexponierten Personen aus dem Karlsruher Raum durchgeführt. Die Abb. 5-9 stellt die seit 1961 gemessenen Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität dar. Deutlich erkennbar sind die Auswirkungen des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests in den 60er Jahren sowie des Reaktorunfalls in Tschernobyl im April 1986.

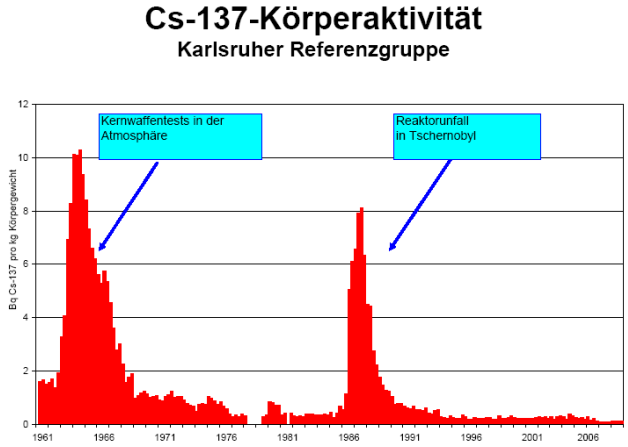


Abb. 5-9: Quartalsmittelwerte der spezifischen Cs-137 Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe seit 1961<

In den Jahren nach dem Unfall von Tschernobyl konnten die Messergebnisse der Referenzgruppe sehr gut als logarithmische Normalverteilungen interpretiert werden. Aus diesem Grund wurden die Messwerte bis zum Jahr 2000 geometrisch gemittelt. In den letzten Jahren näherten sich die Messwerte allerdings wieder an arithmetische Normalverteilungen an, so dass ab 2003 arithmetische Mittelwerte der spezifischen Cs-137-Körperaktivität angegeben werden können. Für 2008 ergibt sich so ein Jahresmittelwert von 0,12 Bq/kg.

Bei Frauen ist die effektive Halbwertszeit von Cs-137 kürzer als bei Männern. Aus diesem Grund haben Frauen im Mittel eine geringere spezifische Cs-137-Körperaktivität als Männer. Im Einzelfall lässt sich diese Aussage jedoch nicht immer verifizieren, da auch noch andere Faktoren den Cs-137-Gehalt beeinflussen, wie z. B. das Muskel/Fett-Verhältnis, der Stoffwechsel und die Ernährungsgewohnheiten.

Die arithmetischen Mittelwerte der absoluten Cs-137-Körperaktivität betragen 12,9 Bq bei den Männern bzw. 4,8 Bq bei den Frauen. Die Standardabweichung des Mittelwertes beträgt 5,5 Bq bei den Männern bzw. 3,7 Bq bei den Frauen. Folglich liegt die zivilisatorisch bedingte Cs-137-Körperaktivität bei den Männern in 95 % der Fälle unter 50 Bq, während sie bei den Frauen in 95 % der Fälle unter 24 Bq liegt. Demnach können in Anlehnung an DIN 25482 die Werte von 50 Bq (Männer) bzw. 24 Bq (Frauen) als Erkennungsgrenzen einer berufsbedingten Cs-137-Körperaktivität angesehen werden.

5.12.3 Messungen mit dem K-40 Flaschenphantom im Rahmen der Nachwuchsförderung

U. Mohr, G. Cordes, N. Dollt, B. Breustedt

Zur Kalibrierung des Ganzkörperzählers stehen verschiedene Phantome zur Auswahl , so auch das K-40 Flaschenphantom. Das Phantom besteht aus einem Satz zylinderförmiger 2 l und 1 l Kautexflaschen. Diese sind mit im Wasser gelösten Kaliumsalz gefüllt und enthalten so auch K-40 , welches zu 0,0117 % Bestandteil des natürlichen Kaliums ist. K-40 wird über Gammazerfall bei 1461 keV im Ganzkörperzähler nachgewiesen. Über die gelöste Kaliummenge (2g K / 1000g Wasser) ist die im Phantom enthaltene Kalium Aktivität bekannt. Mit Hilfe des K-40 Phantoms können Probanden mit unterschiedlichem Körpergewicht von 10 – 100 kg simuliert werden.

Das K-40 Flaschenphantom wird im Ganzkörperzähler zu Kalibrierzwecken und zur Qualitätssicherung eingesetzt.

Abb. 5-10: Flaschenphantom K-40 in Standardmessposition im Ganzkörperzähler

Im April 2008 nahm das In-vivo Messlabor zum zweiten Mal am Girls´ Day teil. Dieser Tag wurde geschaffen um Schülerinnen einen Tag lang, Einblick in technische und naturwissenschaftliche Berufe zu geben. Teilnehmen dürfen an diesem Tag Schülerinnen der 5 – 10. Klasse. Auf diese Weise möchte man erreichen, dass mehr gut ausgebildete Frauen einen technischen Beruf in Betracht ziehen. Das In-vivo Messlabor wurde von 4 Schülerinnen besucht.

Sie erhielten eine kurze Einführung in die Aufgaben und Tätigkeiten des In-vivo Messlabors, jede Schülerin wurde im Ganzkörperzähler untersucht und durfte danach praktisch tätig werden. Die Schülerinnen bauten das K-40 Flaschenphantom nach vorhanden Bauplänen auf und bestimmten danach mit Hilfe der Messsoftware und Unterstützung des Personals des In-vivo Messlabors die gemessene Aktivität im Phantom und verglichen diese mit der berechneten Aktivität.

In Zusammenarbeit mit dem Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU) des Forschungszentrums wurde zusätzlich an zwei Nachmittagen Schülerpraktika im In–vivo Messlabor angeboten. Die Schüler erhielten so einen praktischen Einblick in technisches und wissenschaftliches Arbeiten. Zusätzlich wurden in Zusammenarbeit mit der FTU Führungen durch das In-vivo Messlabor angeboten, um Interesse an strahlenschutzrelevanten Fragen zu wecken und über die Arbeit des Messlabors zu informieren.

5.13 Kalibrierlabor

F. Becker

Die Hauptabteilung Sicherheit Kompetenzerhalt Strahlenschutz betreibt in ihrem Kalibrierlabor folgende Kalibrieranlagen:

- Photonen-Bestrahlungsanlagen
  - kollimierte Cs-137 Strahlenfelder mit vier in 10er Potenzen abgestuften Quellen
  - 1 Weichstrahl-Röntgenröhre bis 60 kV
  - 1 Hartstrahl-Röntgenröhre bis 300 kV
  - Hochdosiseichstand mit Cs-137 Quellen
- Neutronen-Bestrahlungsanlage
  - Cf-252-Quelle mit PTB-Zertifikat
- Beta-Bestrahlungsanlage
  - PTB-Sekundärnormal 2 (BSS 2) Sr-90/Y-90, Kr-85, Pm-147

Im Kalibrierlabor werden Bestrahlungen unter Kalibrierbedingungen in Photonen-, Beta- und Neutronenstrahlungsfeldern durchgeführt. Dazu gehören:

- Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten
- Eichfristverlängerungen nach der Eichordnung für Photonendosimeter
- Wiederkehrende Prüfungen an Strahlenschutzmessgeräten
- Bereitstellung der Photonen-Bestrahlungsanlage für das Eichamt Baden-Württemberg
- Bestrahlung von Prüflingen und Proben für Forschung und Entwicklung

Im Jahr 2008 wurden die Cs-137 Bestrahlungsanlage im Betonbunker und das BSS 2 für eine Akkreditierung ertüchtigt. Um den aktuellen Stand der Technik zu erreichen, wurden ältere Komponenten erneuert und neue Komponenten gefertigt. Insbesondere wurde für die Cs-137 Bestrahlungsanlage ein Programmpaket entwickelt, dass die Datenaufnahme und -aufzeichnung in digitaler Form erlaubt.

Eine Begutachtung zur DKD Akkreditierung für die Cs-137 Bestrahlungsanlage im Betonbunker und das BSS 2 fand im Dezember 2008 statt (Details siehe Kap. 10).

Neben den Routinearbeiten wurden die Anlagen des Kalibierlabors für diverse Projekt-, Praktikums-, Studien- und Diplomarbeiten eingesetzt. Dazu gehören experimentellen Verifikation von MCNPX-Simulationen, Untersuchungen zu Beta- und Neutronenstrahlern und Einsätze für Laborübungen im Rahmen des Praktikums „Strahlentechnische Grundlagen“ der Berufsakademie Karlsruhe.

5.13.1 Routinekalibrierung

P. Bohn, T. Tecle

Die Kalibrierung von Dosisleistungsmessgeräten garantiert die Messgenauigkeit der Geräteanzeige. Die Messgenauigkeit ergibt sich aus den Anforderungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt für die Zulassung zur Eichung und den Prüfregeln für Strahlenschutzmessgeräte.

Folgende Aufgaben stehen im Vordergrund:

- Kalibrierung von Dosisleistungsmessgeräten, Dosiswarngeräten und Dosimetern

- Bestrahlung von Dosimeterchargen zur Kalibrierung von Thermolumineszenz- Auswertegeräten

Im Berichtsjahr wurden 18 Neutronen-Dosisleistungsmessgeräte kalibriert. Im Rahmen von Projekt- und Diplomarbeiten wurden eine Vielzahl von Cf-252 und auch Am-Be Bestrahlungsexperimente durchgeführt.

Im Bestrahlungsbunker fanden 117 Dosimeter-Bestrahlungen statt. Alle Cs-137-Bestrahlungseinrichtungen wurden regelmäßig mit einem Sekundärstandard kontrolliert. Die Überprüfung von 1656 Strahlenschutzmessgeräten zwecks Eichfristverlängerung erfolgte mit der von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zugelassenen stationären Kontrollvorrichtung (SKV). Bei 120 Strahlenschutzmessgeräten, meist Reparaturfälle, erschien eine Messprüfung mit der stationären Kontrollvorrichtung sinnvoll, bevor sie der Eichbehörde überstellt wurden.

5.13.2 Amtliche Eichabfertigungsstelle

P. Bohn

Nach der Eichordnung ist es Aufgabe des Landes Baden-Württemberg, regelmäßige Eichungen von Personen- und Ortsdosimetern vorzunehmen. Entsprechend einem Vertrag zwischen dem Land Baden-Württemberg und dem Forschungszentrum Karlsruhe werden Beamte der Aufsichtsbehörde, an den hierfür vom Forschungszentrum Karlsruhe zur Verfügung gestellten technischen Einrichtungen, hoheitlich tätig.

Der Beitrag der Hauptabteilung Sicherheit bei der Eichabfertigung besteht in der Bereitstellung der Bestrahlungseinrichtungen und in der Unterstützung bei der Durchführung der Eichungen mit insgesamt 6038 Eichpunkten im Jahr 2008.

5.13.3 Auftragsarbeiten

P. Bohn, S. Nagels, F. Becker

Im Berichtszeitraum wurden Auftragsarbeiten in einer Größenordnung von ca. 119 Stunden für Fremdfirmen durchgeführt. Hierbei handelte es sich um Kalibrier- bzw. wiederkehrende Prüfbestrahlungen von Strahlenschutzmessgeräten und neu entwickelten Strahlenschutzmesssystemen.

5.13.4 Bestimmung der Quellentransitzeiten t_{virt}

D. Melzer, S. Nagels, S. Ugi

Für das Kalibrierlabor wurde eine Akkreditierung nach DKD angestrebt und am Ende des Jahres 2008 das erste externe Audit mit Erfolg durchgeführt. Als Kalibrierlabor für Strahlenschutzmessgeräte müssen die Anforderungen der ISO 4037 erfüllt werden. Diese fordert die Bestimmung der Transitzeiten der Quellen.

Die an der Anlage eingestellte Bestrahlungszeit gilt für den Fall eines ideal „rechteckigen“ Dosisleistungsverlaufes während der Bestrahlungszeit, also keiner zusätzlichen Dosis während des Ein- und Ausfahrens der Quelle. In der Praxis benötigt die Quelle eine Zeit des Ein- und Ausfahrens, in der sich die Dosisleistung ständig bis zum Maximalwert vergrößert bzw. bis zum Minimalwert verringert. Die virtuelle Zeit t_{virt} ist dann die Zeit, die die Quelle voll ausgefahren sein müsste, um die gleiche Dosis zu erzeugen, die beim Ein- und Ausfahrvorgang der Quelle entsteht. Sie lässt sich nicht direkt mit einer Uhr messen, sondern wird durch Dosismessungen nach einem in ISO 4037-2 Kapitel 5.8 beschriebenen Verfahren mit verschiedenen, an der Anlage eingestellten, Bestrahlungszeiten t_{set} ermittelt.

Zur Bestimmung der virtuellen Zeit t_{virt} für die vier eingebauten Cs-137-Quellen (Quelle 1-4) wurde mit Hilfe eines Auswerteprogramms namens Klab.exe gearbeitet. Das Programm kann die an der Quellenfahrtstrecke angebrachten Reedkontakte kontrollieren und somit die Fahrzeit der

Quellen bestimmen. Außerdem werden relevante Umgebungsdaten wie Luftdruck und Raumtemperatur aufgezeichnet.

Als Messkammer wurden offene Luftionisationskammern verwendet, welche je nach Quellstärke und Messabstand gewählt wurden. Damit alle Werte vergleichbar sind, war es notwendig, alle Messungen auf einheitliche Norm- Umgebungsparameter zurückzuführen.

Zunächst wurde für die Cs-137 Quellen jeweils drei Messreihen durchgeführt, um die Schwankungsbreite der Messergebnisse abschätzen zu können. Für Quelle 1 und Quelle 2 wurden die Zeitintervalle auf 300s, 150s, 50s, 30s, 20s, 10s, 5s, 1s definiert und für Quelle 3 und 4 wegen der geringeren Aktivität auf 300s, 200s, 150s, 100s, 50s, 30s und 20s festgelegt.

Die Messbedingungen sollten vergleichbar sein. Daher wurden alle Messungen zur Bestimmung von t_{virt} zunächst für den Quellen-Messkammer Abstand dQ=2000 mm zwischen Messkammer und Quelle durchgeführt. Des Weiteren wurde die Messkammer stets im kollimierten Strahlenfeld zentriert. Anschließend wurde die gleiche Anzahl an Messungen im Abstand dQ=3000 mm durchgeführt, um zu untersuchen wie groß der geometrische Einfluss des Kollimators ist. Die Zeitintervalle der Messzeiten sollten anhand der für dQ=2000 mm ermittelten Ergebnisse festgelegt werden.

Vor jeder einzelnen Messung wurde der Nulleffekt gemessen und dokumentiert. Die minimale Messzeit des Nulleffektes wurde auf eine Minute festgelegt, um die zählstatistischen Schwankungen zu minimieren.

Zur Überprüfung der Fahrzeiten musste die Abweichung der Uhr des Auswerteprogramms Klab.exe möglichst genau bestimmt werden. Die Uhr der Bestrahlungsanlage ist so konzipiert, dass die Zeit in 0,1 Sekunden Intervallen eingestellt und abgelesen werden kann. Da alle ausgelesenen Zeiten mit der Systemzeit des angeschlossenen Rechners gestempelt werden, wurde die Genauigkeit dieser Zeitmessung untersucht. Hierfür wurde ein Zeitabgleich mit der Atomuhr in Braunschweig vorgenommen und nach 24h erneut verglichen. Die Systemuhr des verwendeten Rechners zeigte nach einer 24h Messung stets eine Abweichung zur Atomuhr von weniger als zwei Sekunden.

Für die durchgeführten Messungen zur Bestimmung der virtuellen Zeit ist die Abweichung folglich vernachlässigbar klein, da die maximale Messzeit 300 Sekunden betrug. Auch für die Einstellung der Bestrahlungszeit ist die Abweichung ohne Relevanz, da die Zeit an der Anlage nur in 0,1 Sekunden Intervallen eingestellt und abgelesen werden kann.

Quelle	Anzahl Messungen	Mittlere Einfahrzeit [s]	Mittlere Ausfahrzeit [s]	Mittlere Gesamtfahrzeit [s]	Rel. Stabw. Gesamtfahrzeit [%]
1	50	0,613	0,762	1,375	3,05
2	50	0,500	0,533	1,033	1,95
3	64	1,003	0,494	1,497	3,05
4	29	0,049	0,247	0,296	2,06

Tab. 5-13: Fahrzeiten der Quellen 1-4 mit ermittelter relativer Standardabweichung der Gesamtfahrzeiten

Um Aussagen über die virtuelle Zeit t_{virt} machen zu können, musste geprüft werden, ob die Ein- und Ausfahrzeiten der Quellen konstant sind. In Tab. 5-13 sind die Ergebnisse der mit Klab.exe gemessenen Fahrzeiten gezeigt.

Die einzelnen Ein- und Ausfahrzeiten wurden errechnet aus der Differenz von „Q_i nicht offen“ und „Q_i offen“ für die Einfahrzeit und aus „Q_i nicht offen“ und „Q_i geschlossen“ für die Ausfahrzeit. Das Auswerteprogramm wurde so modifiziert, dass während den Messungen keine permanente Systemabfragen durchgeführt, sondern nur nach Beendigung der Messung die zwischengespeicherten Daten abgefragt wurden. Dies verbesserte die Genauigkeit der Messergebnisse. Die anschließenden Messungen zeigten, dass die Fahrzeiten konstant sind mit den in Tab. 5-13 dargestellten Standardabweichungen der Gesamtfahrzeiten.

Es wurde deutlich, dass Quelle 2 die kürzeste Gesamtfahrzeit hat und Quelle 3 die längste. Die Quelle 4 muss gesondert betrachtet werden, da diese von oben statt von unten in Position gebracht wird. Die sehr kurzen Fahrzeiten von Quelle 4 scheinen plausibel, da diese ohne Durchflussregulierung mit der vollen Kraft des Druckbehälters in Position gepresst wird und durch Federkraft in die Abschirmung zurück gezogen wird, wohingegen die anderen Quellen bidirektional mit eingestelltem Durchflussventil gefahren werden.

Vergleicht man die Fahrzeiten der Quellen 1-3 fällt auf, dass die lange Gesamtfahrzeit bei Quelle 3 hauptsächlich durch die vergleichsweise lange Einfahrzeit verursacht wird, wohingegen die Ausfahrzeit im Vergleich zu den anderen von unten einfahrenden Quellen am kürzesten ist. Grund hierfür könnte die unterschiedliche Geometrie und Masse der Abschirmung oberhalb der Quelle 3 sein. Da an ihrer Stelle früher eine starke Co-Quelle positioniert war, liegt die Vermutung nahe, dass die Abschirmung auch größer ausgelegt ist. Dies würde erklären, warum der Einfahrvorgang deutlich länger dauert und der schwerkraftunterstützte Ausfahrvorgang schneller von statten geht. Die Fahrzeit der Quelle 3 wurde mit den Druckventilen an die Fahrzeiten der anderen Quellen angepasst.

Die durchgeführten Messungen zur Bestimmung von t_{virt} wurden jeweils im gleichen Abstand wie die Kalibrierungen für dQ=2000 mm für die einzelnen Quellen durchgeführt. Für Quelle 1 und 2 wurde eine 30 cm^3-, für Quelle 3 eine 1 Liter- und für Quelle 4 eine 10 Liter-Ionisationskammer verwendet.

Als Erstes wurden die erhaltenen Dosismesswerte K_{Mi} der verschiedenen Messreihen Luftdichte korrigiert zu $K_{M,kal}$ und anschließend auf das Referenzdatum 01.01.2008 zu $K_{M,Kal,Ref}$ zurückgerechnet.

Zur Bestimmung von t_{virt} wurde das gewichtete Mittel aus der Differenz der gemessenen Dosis und der Kalibrierdosis herangezogen.

Es wurde erwartet, dass die Ein- und Ausfahrzeiten der Quellen weitgehend reproduzierbar sind und somit die Messwerte einen konstanten Offset in Bezug zur Kalibriergeraden bilden (siehe Abb. 5-11).

Beim gewichteten Mittel werden den Messwerten Gewichte w_i zugeteilt, wodurch ein Maß für die Zuverlässigkeit des jeweiligen Wertes gewichtet in die Mittelwertbildung einfließt. Die Gewichte wurden aus der Quadratesumme der Standardabweichung σ der jeweils drei Messreihen dividiert durch die Wurzel aus der Anzahl der Messungen $\sqrt{n}$ und der Standardabweichung der Kalibrierung berechnet (siehe Abb. 5-11).

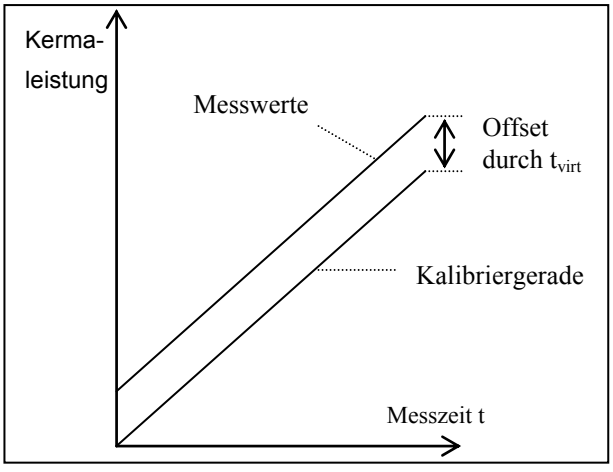


Abb. 5-11: Erwarteter Offset

$$w_i = \frac{1}{(u(K_{Ref}))^2 + (\frac{\sigma_i}{\sqrt{n}})^2} \tag{5-1}$$

Dabei ist:

$u(K_{Ref})$ Die Standardabweichung der vier Kalibriermessungen für 2000 mm Abstand

σ_i Standardabweichung der n Messwerte $K_{MKalRef}$

n Anzahl der Messungen

Der gewichtete Mittelwert wurde dann nach Gl.(5-2) bestimmt.

$$x_w = \frac{\sum x_i \cdot w_i}{\sum w_i} \tag{5-2}$$

Dabei ist :

x_i Offset, d.h. die Differenz aus dem Mittelwert der korrigierten Kermamesswerte $\overline{K}_{M,KalRef}$ der n Messreihen und dem über die Kalibrierung bestimmten Wert KKal

Die Unsicherheit des gewichteten Mittels wurde nach Gl.(5-3) ermittelt.

$$\sigma_{xw} = \sqrt{\frac{1}{\sum w_i}} \tag{5-3}$$

In Tab. 5-14 ist die Berechnung des gewichteten Mittels am Beispiel der Quelle 2, sowie dessen Unsicherheit nach den Gleichungen (5-1) bis (5-2) wiedergegeben.

Die virtuelle Zeit ergab sich somit zu Gl.(5-4):

$$t_{virt} = \frac{x_w}{\dot{K}_{Ref}} \tag{5-4}$$

Dabei ist:

x_W Der gewichtete Mittelwert des Offsets

K_{Ref} Die Kalibrierkermaleistung des entsprechenden Abstandes bei Qi

Die Berechnungsschritte mit Zwischenergebnissen sind in Tab. 5-14 exemplarisch für Quelle 2 dargestellt.

Zeit [s]	K_{Kal} [µGy]	$u(K_{Kal})$ [µGy]	$\overline{K}_{M,KalRef}$ [µGy]	n	$\sigma(K_{MKalRef})$ [µGy]	$K_{Kal} - K_{MKalR}$ [µGy]	w_i $[µGy]^{-2}$	$(K_{Kal} - K_{MKalRef}) * w_i$ $[µGy]^{-1}$
300	3611,43	2,10E+00	3611,72	3	1,446	0,30	1,54E-01	4,54E-02
150	1805,71	1,05E+00	1807,96	3	0,392	2,25	7,95E-01	1,79E+00
50	601,90	3,50E-01	605,29	3	0,124	3,39	7,24E+00	2,45E+01
30	361,14	2,10E-01	364,90	3	0,211	3,76	1,13E+01	4,23E+01
20	240,76	1,40E-01	244,08	3	0,107	3,32	3,22E+01	1,07E+02
10	120,38	7,01E-02	124,07	5	0,135	3,53	4,30E+01	1,58E+02
5	60,19	3,50E-02	64,04	5	0,097	3,73	9,44E+01	3,64E+02
1	12,04	7,01E-03	15,76	5	0,024	3,72	1,59E+03	5,90E+03
gewichtetes Mittel [µGy]:			3,71E+00				Σ 1,78E+03	Σ 6,60E+03
Stabw gew.Mittel [µGy]:			2,37E-02					
t_{virt} rel.:		0,64%	t_{virt} [s]:			0,308	$u(t_{virt})$ [s]:	1,97E-03

Tab. 5-14: Unsicherheiten zur Berechnung des gewichteten Mittelwertes und dessen errechnete Unsicherheit, sowie der daraus resultierenden virtuellen Zeit t_{virt} für Quelle 2

Es wird deutlich, dass längere Messzeiten weniger stark gewichtet werden als die kurzen Messzeiten. Aus diesem Grund wurden für die kurzen Messzeiten 5 statt 3 Messungen durchgeführt.

In Tab. 5-15 sind die für alle Quellen auf die oben beschreibe Art ermittelten Werte für t_{virt} mit den entsprechenden Unsicherheiten aufgelistet, bevor die Nachstellung für Quelle 3 erfolgte.

Die sehr große Unsicherheit von Quelle 4 ist jedoch nicht von Bedeutung, da bei der sehr kurzen Fahrzeit t_{virt} ohnehin sehr klein ist. Es war zu erwarten, dass bei derart kleinen Messwerten das nach unten begrenzte Ansprechvermögen der Kammer solche Unsicherheiten liefern wird.

In der ermittelten relativen Unsicherheit sind die Teilstandardmessunsicherheiten vom Typ A (Reproduzierbarkeit) der Größen Messzeit, Kermaanzeige K_M und Luftdichtekorrektionsfaktor $k_{L,M}$ enthalten.

Quelle	t_{virt} [s]	$u_r(t_{virt})$ [%]
1	0,335	1,56
2	0,308	0,64
3	0,803	1,31
4	0,012	206

Tab. 5-15: Ergebnisse für t_{virt} durch die Berechnung über gewichtete Mittel für dQ=2000 mm

Der Zusammenhang zwischen Fahrzeit und t_{virt} scheint bei der Berechnung über das gewichtete Mittel plausibel.

In Abb. 5-12 ist der geometrischen Zusammenhang zwischen der Quellenfahrzeit, dem Quellabstand d_Q und t_{virt} schematisch dargestellt. Die blau markierte Position stellt die voll ausgefahrene Position der Quelle zentriert hinter dem Kollimator dar. Beim Betrachten des hier nur qualitativ gezeigten Strahlenfeldes auf roter Position wird deutlich, dass die nahe Messkammer bereits bestrahlt wird, die weiter entfernte aber noch keine Dosis erhält. Die Öffnung des Kollimators ist hierbei von Bedeutung. Da jedoch nahezu alle Bestrahlungen im Kalibrierlabor mit Kollimator 4 durchgeführt werden, wurden alle Untersuchungen für t_{virt} mit dieser durchgeführt. Es stellte sich daher die Frage, wie groß dieser geometrische Einfluss bei unterschiedlichen Quellabständen ist und ob t_{virt} für alle Quellabstände als konstant angenommen werden kann.

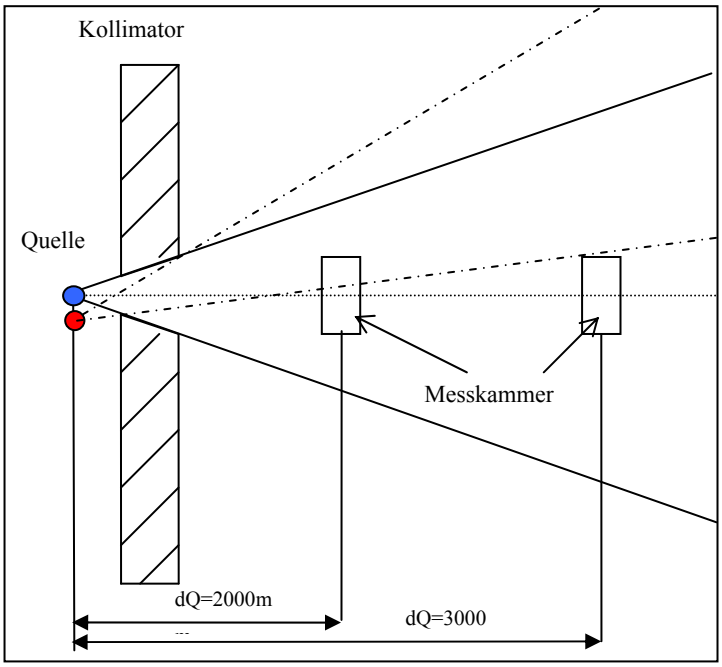


Abb. 5-12: Schematische Darstellung des geometrischen Zusammenhangs zwischen Quellenfahrzeit, dem Quellabstand dQ und t_{virt}

Die gesamte Untersuchung für dQ=3000 mm wurde analog der Bestimmung von t_{virt} für dQ=2000 mm durchgeführt. Allerdings wurden aus Zeitgründen die Messzeitintervalle kürzer gewählt. Bei der Bestimmung von t_{virt} in 2000 mm Abstand hatte sich gezeigt, dass kurze Messzeiten den größten Einfluss auf den ermittelten gewichteten Abszissenwert haben. Daher wurden die Zeitintervalle auf je 3 Messreihen je 30s, 20s, 10s und fünf Messreihen je 5s, 3s und 1s beschränkt und der Nulleffekt jeweils 60 Sekunden lang gemessen. Für Quelle 1 wurde entsprechend der Kalibrierung die 30 cm^3-Ionisationskammer verwendet und für Quelle 2 und 3 die 1 Liter-Kammer. Für Quelle 4 wurde t_{virt} nicht gesondert untersucht, bzw. keine Kalibrierung durchgeführt, weil zum einen die Dosis in 3000 mm Abstand zu gering ist zum andern t_{virt} für 2000 mm bereits vernachlässigbar klein wegen der sehr kurzen Gesamtfahrzeit war.

Für Quelle 1, 2 und 3 (nach Einstellung des Druckes) ergab die Untersuchung in dQ=3000 mm Abstand für t_{virt} die gleichen Werte wie bei dQ=2000 mm im Rahmen der ermittelten Unsicherheiten.

Da die Bestrahlungszeit an der Bestrahlungsanlage nur in 0,1 Sekunden Intervallen eingestellt werden kann, werden die Ergebnisse für t_{virt} gerundet. Bei Quelle 4 ist die virtuelle Zeit zu vernachlässigen. Der Berechnung der Gesamtunsicherheit $u(t_{virt})$ wurde eine Dreiecksverteilung für die Rundung auf 0,1 Sekundenintervalle zugrunde gelegt. Die Unsicherheit durch das gewichtete Mittel ist gegenüber der Unsicherheit durch die Rundung klein.

Durch die Rundung der Ergebnisse entstehen erneut Unsicherheiten. Da der Einfluss des Offsets bei besonders kurzen Messzeiten am größten ist und die Rundung von t_{virt} z. B. bei Quelle 1 ca. 10 % ausmacht, wird zusätzlich empfohlen, immer Messzeiten größer oder gleich 10 Sekunden einzustellen. Hierdurch soll der Einfluss der Rundung reduziert werden.

Quelle	dQ [mm]	t_{virt} [s]	$u(t_{virt})$ [s]	$u_r(t_{virt})$ [%]
1	2000 u. 3000	0,3	4,12E-02	13,72
2	2000 u. 3000	0,3	4,09E-02	13,62
3	2000 u. 3000	0,3	4,09E-02	15,27
4	2000	0,0	4,08E-02	-

Tab. 5-16: Endergebnisse für t_{virt}

Zukünftig sollten noch weitere Abstände dQ untersucht werden, um umfangreichere Messdaten zu erhalten. Es wird erwartet, dass t_{virt} für Quelle 1, 2 und 3 erst bei größeren Abständen einen anderen Wert annehmen.

5.13.5 Eichfristverlängerung

P. Bohn, T. Tecle

Mit den Bestrahlungseinrichtungen des Kalibrierlabors ist es möglich die auf zwei Jahre begrenzte Eichfrist zu verlängern. Bei der Überprüfung von Strahlenschutzmessgeräten zwecks Eichfristverlängerung (EFV) ist wichtig, vorgeschriebene Zeitintervalle von maximal sechs Monaten einzuhalten. Vom Kalibrierlabor wird auch bei erhöhtem Eingang von Messgeräten an Eichfristverlängerungsterminen der entsprechend hohe Personaleinsatz zur Verfügung gestellt. Ingesamt wurde 2008 für ca. 1600 Dosis- und Dosisleistungsmessgeräte eine EFV durchgeführt.

6 Kompetenzerhalt im Strahlenschutz

6.1 Physikalische Messverfahren

6.1.1 Bestimmung von Radon in Trinkwasser mittels Flüssigszintillationsspektrometrie

D. Melzer, C. Passarge, Chr. Wilhelm

Im Rahmen einer Studienarbeit wurde im Physikalischen Messlabor ein Verfahren zur Bestimmung von Rn-222 in Trinkwasser mittels Flüssigszintillations-Spektrometrie validiert.

Hierbei wurde zum einen ein Routine-Messverfahren für den Laborbetrieb eingeführt, zum anderen aber auch verschiedene Probenentnahme-Methoden in Wassergewinnungsanlagen untersucht.

Verglichen wurden die Probenentnahmemethode nach der Messanleitung Umweltradioaktivitäten des Bundesamtes für Strahlenschutz [Bun06] (Methode BfS) und eine Methode entsprechend dem Radon Report des California Department of Health Services [MET07] (Methode CDHS). Die beiden Methoden unterscheiden sich hauptsächlich im Zeitpunkt der Probenaufbereitung und der Art der Probenentnahme.

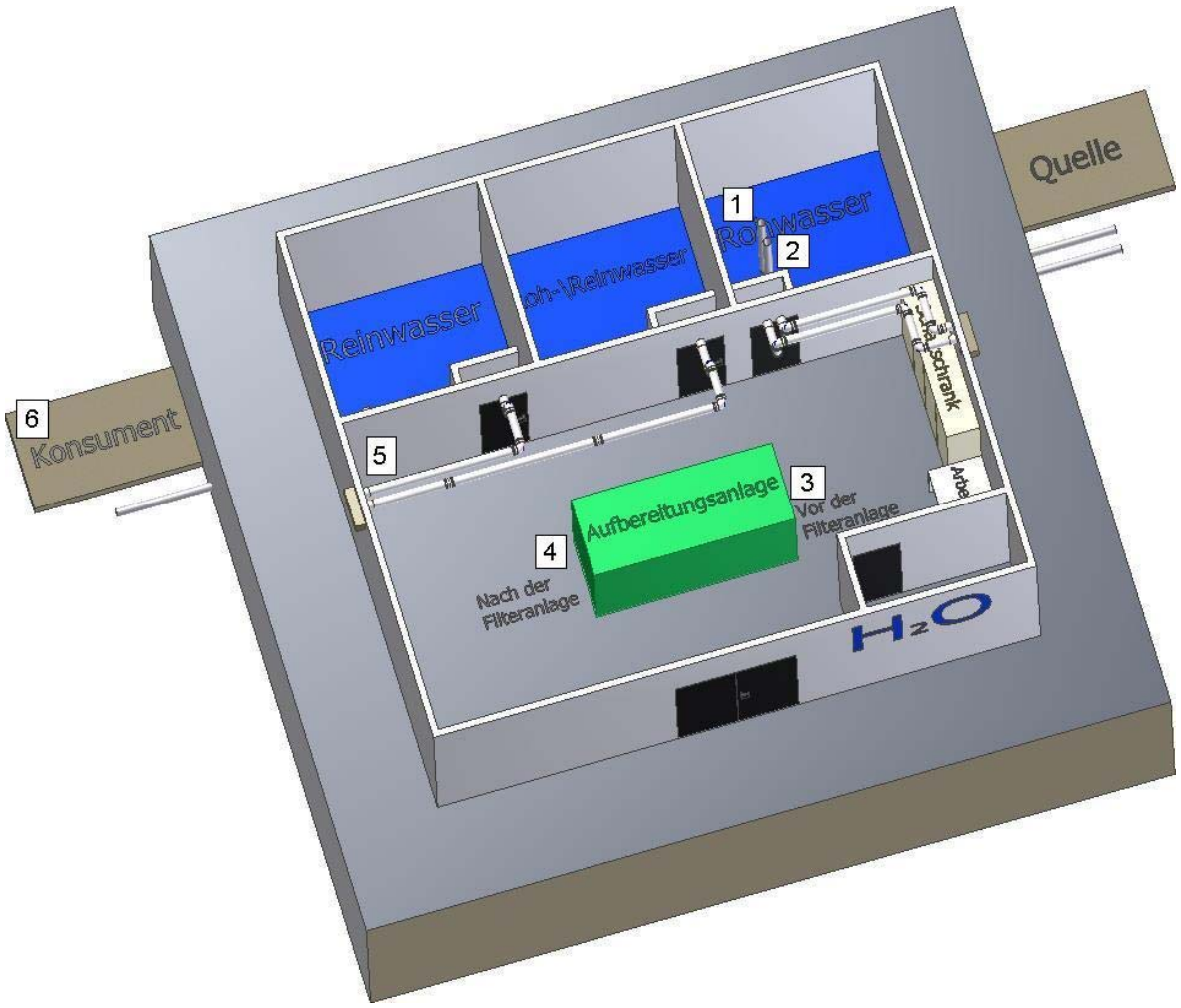
Bei der Methode BfS werden Glasvials mit Szintillations-Cocktail vorbereitet und zum Messort mitgeführt. Die Probenaufbereitung findet somit direkt bei Probenentnahme statt. Die Wasserproben werden mit einer Aufziehspritze entnommen und vorsichtig unter den Cocktail geschichtet.

Bei Methode CDHS werden leere und saubere Glasvials zur Messstelle mitgeführt und vor Ort vollständig und luftblasenfrei unter Wasser gefüllt und verschlossen. Im Labor werden aus dem Glasvial 14,9 ml Wasser abpipettiert und 10 ml Cocktail sowie 100µl 1M HCl vorsichtig auf die Probe gegeben.

Bei der Probenentnahme stellten sich beide Methoden als geeignet dar, wobei die vom BfS empfohlene sich bei der Probenentnahme und bei späteren Arbeitsabläufen als die Komfortablere darstellte. Hauptproblem bei der Probenentnahme war bei der kalifornischen Methode, dass oft das Anschließen eines Schlauches an Ausläufe oder Hähne nicht möglich war und durch die Probennachbereitung der Beginn der Messung unnötig nach hinten verschoben wurde. Die Messergebnisse beider Methoden waren im Rahmen der Messunsicherheiten vergleichbar (siehe Abb. 6-2). Auf Grund der besseren Durchführbarkeit der Probennahme wurde für das Physikalische Messlabor festgelegt, zukünftig die Methode vom BfS anzuwenden.

Die Bestimmung der Radonkonzentration in Trinkwasser beruht auf den Zerfallseigenschaften des Radon-222 und seiner Tochternuklide, sowie der Tatsache, dass sich Radon in rein organischen Phasen deutlich besser löst als in Wasser. Nach der Zugabe der Probe zum Cocktail muss zunächst mit der Messung gewartet werden, bis sich nach ca. drei Stunden ein radioaktives Gleichgewicht zwischen Radon-222 und seinen kurzlebigen alpha-strahlenden Töchtern Po-218 und Po-214 eingestellt hat. Die anschließende Flüssigszintillationsmessung erfolgt mittels Alpha-Beta-Diskriminierung. Für die Auswertung werden ausschließlich die Alpha-Strahler untersucht, da für diese der Nulleffekt sehr klein ist und geringe Nachweisgrenzen erreicht werden können. Der Nachteil des Verfahrens ist, dass die Proben wegen der geringen Probenmenge von nur 10 ml und der kurzen Halbwertzeit des Radons innerhalb weniger Tage gemessen werden müssen.

Im Rahmen der Untersuchungen konnte für das Verfahren eine Erkennungsgrenze von 0,2 Bq/l und eine Nachweisgrenze von 0,5 Bq/l ermittelt werden. Die Unsicherheiten der Aktivitätskonzentrationen sind in erster Linie abhängig von der Bruttozählrate und von der Unsicherheit des Probenvolumens. Alle anderen Einflüsse zeigten sich als nachrangig. Die Gesamtunsicherheit der Messung konnte zu ca. ±10% bestimmt werden.



1 Quellenzulauf 1 in die Rohwasserkammer

2 Quellenzulauf 2 in die Rohwasserkammer

3 Vor Filteranlage

4 Nach Filteranlage/ vor Reinwasserkammer

5 Nach Reinwasserkammer

6 Konsument

Abb. 6-1: Schematische Darstellung der Wassergewinnungsanlage mit den Probenentnahmepunkten in Reihenfolge der Wasserfließrichtung

In Abb. 6-1 ist die beprobte Wassergewinnungsanlage schematisch dargestellt. Die eingetragenen Nummern entsprechen den verschiedenen Probenentnahmestellen. Mit aufsteigender Nummer folgt man der Fließrichtung des Wassers durch die Wassergewinnungsanlage.

In Abb. 6-2 sind die für die verschiedenen Probenentnahmepunkte die ermittelten Messergebnisse mit den jeweiligen Unsicherheiten aufgetragen.

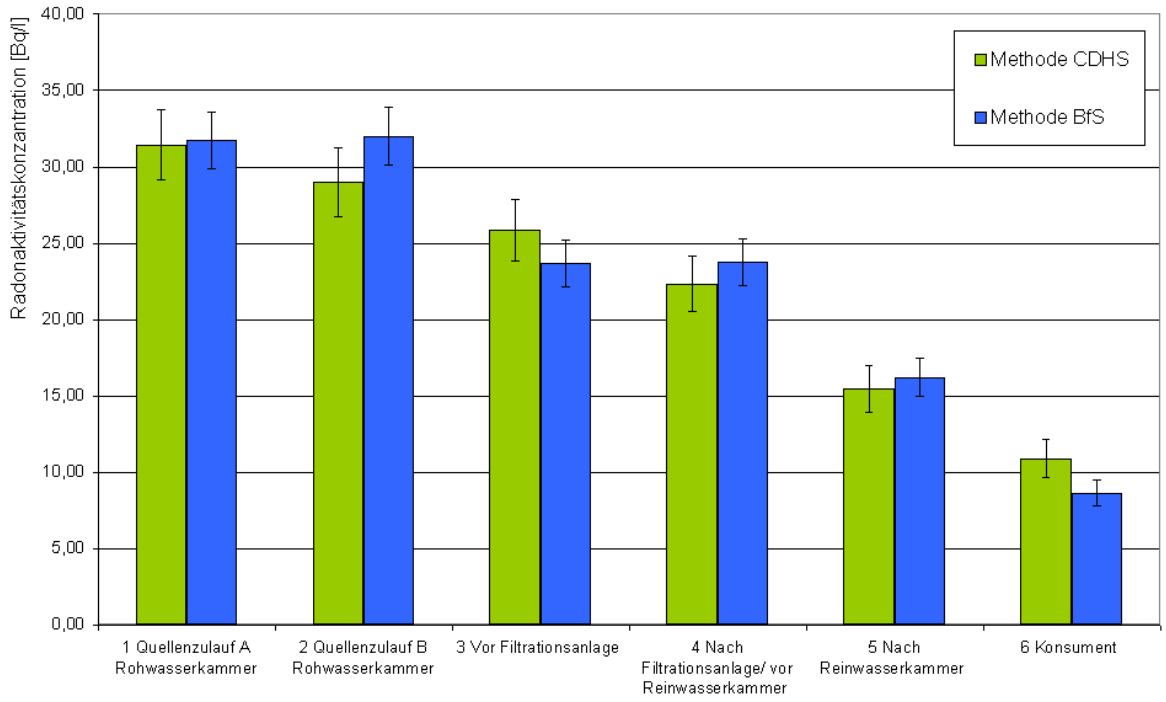


Abb. 6-2: Übersicht der Einzelmessergebnisse und ihre Unsicherheiten für die Probenentnahmepunkte im Wasserwerk

Hierbei wird deutlich, dass die Messergebnisse beider Verfahren erwartungsgemäß im Verlauf der Fließstrecke immer weiter abnehmen. Außerdem stellen sich die Messwerte beider Verfahren als vergleichbar dar. Die stets etwas höherer Messunsicherheit der CDHS Methode ist in der Reihenfolge der Messung begründet. Es wurden zuerst alle Proben der BfS Methode ausgewertet.

Vergleichende Untersuchungen zwischen der hier vorgestellten LSC-Methode und dem Aquakit-Verfahren, welches vom Radonlabor angewendet wird sind geplant. Hierzu sollen zum Einen mit angesetzten Radonstandards und zum Anderen mittels Feldversuchen in ausgesuchten Wassergewinnungsanlagen an den gleichen Messpunkten und zur gleichen Zeit Messungen mit beiden Verfahren durchgeführt werden.

Die schnelle Ergebniserstellung (ca. 30 Minuten) vor Ort macht das Aquakit-Verfahren zu einem im Feldversuch interessanten Messverfahren zur Übersichtsbestimmung der Radonaktivitätskonzentration in Wasser. Für genauere Ergebnisse, die nicht direkt vor Ort benötigt werden, oder bei kleineren Aktivitätskonzentrationen ist das LSC-Verfahren voraussichtlich besser geeignet, da hierbei eine geringere Nachweisgrenze erreicht wird.

6.2 Dosimetrie zur Messung äußerer Strahlenexposition

6.2.1 Strahlenschutz beim Einsatz von Betanukliden in medizinischen Heilverfahren

S. Trappen, F. Becker

In der Nuklearmedizin werden zunehmend Beta-Strahler für Heilverfahren angewendet. Dies kann zu Strahlenbelastungen für das medizinische Personal führen, insbesondere bei der Verwendung des hochenergetischen Beta-Strahlers Y-90. Deshalb wurde die Strahlenschutzsituation in einer Studien- und Diplomarbeit der Berufsakademie Karlsruhe [Tra08] bei zwei Therapien untersucht, bei denen das Y-90 als Beta-Teilchen-Quelle dient: die Selektive Interne Radiotherapie (SIRT, eine Therapiemöglichkeit für Krebserkrankungen der Leber) und die Radiosynoviorthese (RSO, einem nuklearmedizinisches Verfahren zur Behandlung von entzündlichen Gelenkerkrankungen). Der Schwerpunkt wurde dabei auf die SIRT gelegt, da es bezüglich der

Strahlenschutzsituation bei dieser Therapie so gut wie keine Veröffentlichungen gibt. Bei der SIRT werden winzige Kügelchen (Sphären), an denen Y-90 fest gebunden ist, in die Leber injiziert, in der sie als permanentes Implantat verbleiben. Bei der Bestrahlung handelt es sich um eine interne Bestrahlung, die lokal an den Tumoren eine gewünschte Schädigung erzielen.

Im vorliegenden Beitrag werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung zur SIRT vorgestellt. Zur Ermittlung der Dosis $H_p(0,07)$ und H'(0,07) wurden dünnschichtige Thermolumineszenzdetektoren (TLDs) eingesetzt.

Abb. 6-3: Versuchsaufbau zur Messung der Ortsdosis: TLDs (gelbe Markierung) befanden sich 4 cm über dem geöffnetem Bleicontainer mit dem Transportvial, in dem sich das Y-90 befindet.

Bei der Herstellung der Yttrium-Kügelchen kommt die kurze Halbwertszeit vom Y-90 von rund 64 Stunden zum Tragen. Die Kügelchen werden nach der Herstellung schnellstmöglich an das Therapiezentrum geliefert. Dabei liegen die Kügelchen mit sterilem Wasser als Suspension vor, die in einem Transportvial aus Glas geliefert wird. Ein Bleicontainer mit einer Wandstärke von ca. 1 cm dient als Abschirmung beim Transport. Die gelieferten Aktivitäten betragen 3 bis 4 GBq bei einem Volumen von 5 bis 6 ml. Aus dem Transportvial wird vom medizinischen Personal die für die Patienten benötigte Menge in ein Applikationsvial umgefüllt.

Es wurde zunächst die Ortsdosis in 4 cm Höhe über dem Transportvial bestimmt, um das Strahlenfeld um das Transportvial zu messen (Abb. 6-3). Der Maximalwert der Dosisleistung lag ohne die Verwendung der Plexiglasabschirmung bei 8,5 mSv/(GBq*h). Es wurde vermutet, dass diese hohe Dosis von nicht abgeschirmten Beta-Teilchen herrührt. Daher wurde von HS-KES eine 2 cm dicke Plexiglas-Abschirmung mit Aussparung konstruiert (Abb. 6-4, links), mit der eine Entnahme der Aktivität aus dem Transportvial möglich war. Mit dieser Abschirmung waren die Werte etwas geringer, bei 7 mSv/(GBq*h).

Da die Abschirmwirkung des Plexiglases gering war, wurde zunächst angenommen, dass die Bremsstrahlung dominiert. Um dies zu verifizieren, wurden in einer Studienarbeit [Tra08] die Bremsstrahlungsspektren oberhalb der Transportvials mit und ohne Plexiglasabschirmung mit einem Germaniumdetektor untersucht. Als Ergebnis wurde die geringe Abschirmwirkung des Plexiglases für Bremsstrahlung bestätigt, aber der gemessene Beitrag der Bremsstrahlung zur Dosis betrug nur etwa 10 % der obigen TLD-Dosis. Um dem komplexen Sachverhalt des gemischten Elektronen-Gamma-Strahlenfeldes auf den Grund zu gehen, wurden Monte-Carlo-

Simulationen durchgeführt (siehe Kap. 6.2.2 Numerische Simulation in inhomogenen Beta-/Photonen-Strahlungsfeldern). Die Simulationen haben ergeben, dass das Strahlenfeld um das Transportvial stark von der Verteilung der Y-90 Kügelchen im Vial abhängt und das insbesondere kleinste Mengen von Kügelchen im Deckel und Flaschenhalsbereich den höchsten Beitrag zum Strahlenfeld beitragen können. Eine mögliche Schlussfolgerung ist nun, dass in der o. g. Untersuchung mit und ohne Abschirmung der Deckel kontaminiert gewesen sein könnte und so die fehlende Abschirmwirkung des Plexiglases sowie die hohen Dosen erklärt werden können.

Dieser Sachverhalt wurde in einer Diplomarbeit genauer untersucht [Tra08]. Dazu wurde neben der Abschirmung mit Aussparung auch eine Abschirmung ohne Aussparung eingesetzt (Abb. 6-4).

Abb. 6-4: Abschirmung mit Aussparung (links) und komplette Abschirmung (rechts) aus 2 cm Plexiglas, von HS-KES konstruiert und gefertigt

Die Ortsmessungen über dem Transportvial wurden unter kontrollierten Bedingungen wiederholt und auch Kontaminationsmessungen (Wischtests) auf dem Deckel des Transportvials durchgeführt. Die Ergebnisse der Ortsdosismessungen sind in Abb. 6-5 dargestellt. Bei dieser Messung zeigt sich ein deutlicher Effekt der Plexiglasabschirmung. Eine maximale Dosisleistung von 7 mSv/(GBq*h) konnte in dieser Untersuchung auf etwa 2 mSv/(GBq*h) reduziert werden. Dass der Hauptdosisanteil von Beta-Teilchen herrührt, wird durch die komplette Abschirmung von 2 cm Plexiglas ohne Aussparung bestätigt. In einer weiteren Messung unter gleichen Bedingungen wurde dieser Befund nochmals verifiziert.

Auffallend ist, dass die gemessene Dosisleistung mit weniger Aktivität größer ist, als mit der höheren Aktivität. Bei diesem zunächst verblüffenden Ergebnis, dass „weniger mehr ist“, lieferten die Simulationen einen wichtigen Beitrag zum Verständnis. Es ist in diesem Fall die Höhe der Wassersäule über den Y-90 Kügelchen, die als weitere Abschirmung fungiert, da sich die Y-90 Kügelchen aufgrund ihrer Schwere am Boden absetzen (siehe Foto in Abb. 6-5). Sinkt nun die Höhe der Wassersäule, wenn weniger im Vial ist, nimmt die Abschirmwirkung ebenfalls ab.

Um festzustellen, wie viel mögliche Aktivitäten auf der Deckeloberseite des Transportvials zur Dosis beitragen, die bei der Entnahme der benötigten Menge entstehen können, wurden Wischtests durchgeführt. Die maximale Aktivität lag bei diesen Untersuchungen um 20 kBq. Nach den Simulationen würden erst Aktivitäten ab 100 kBq auf der Deckeloberseite den Hauptdosisanteil stellen. Eine Deckelkontamination mit einer Aktivität oberhalb dieses Wertes würde also erklären, warum bei der ersten Untersuchung die Plexiglasabschirmung kaum Wirkung zeigte.

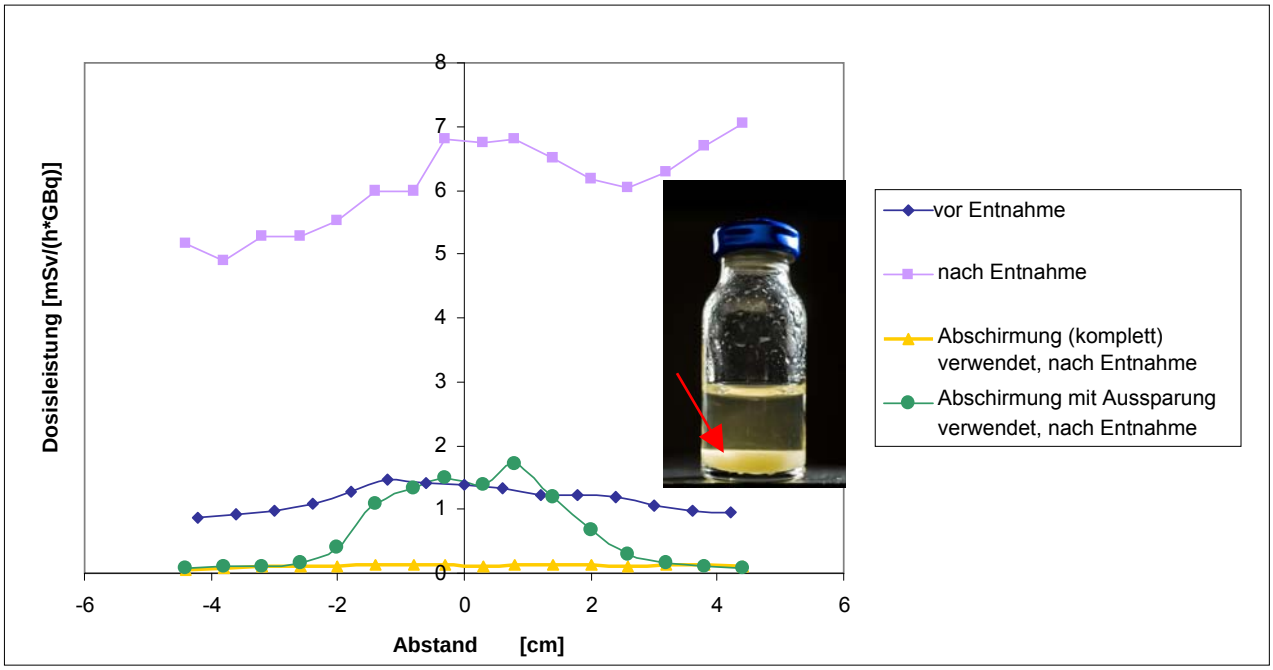


Abb. 6-5: Dosisleistung oberhalb des Transportvials ohne Blechdeckel, welches sich im geöffnetem Bleicontainer befand, bei einer Aktivität von 3,5 GBq vor der Entnahme und 1,6 GBq nach der Entnahme. Das Foto zeigt das Transportvial mit den abgesenkten Y-90 Kügelchen (roter Pfeil)

Neben der Ortsdosis wurde auch die Teilkörperdosis $H_p(0,07)$ des medizinischen Personals studiert. Abb. 6-6 zeigt eine Messanordnung der TLDs auf den Händen zusammen mit einer typischen Dosisverteilung, die bei der bei der Entnahme der benötigten Menge für den Patienten entstehen kann. Am Trageort des amtlichen Fingerringdosimeters wurde in diesem Fall nur 16 % der maximalen Dosis registriert.

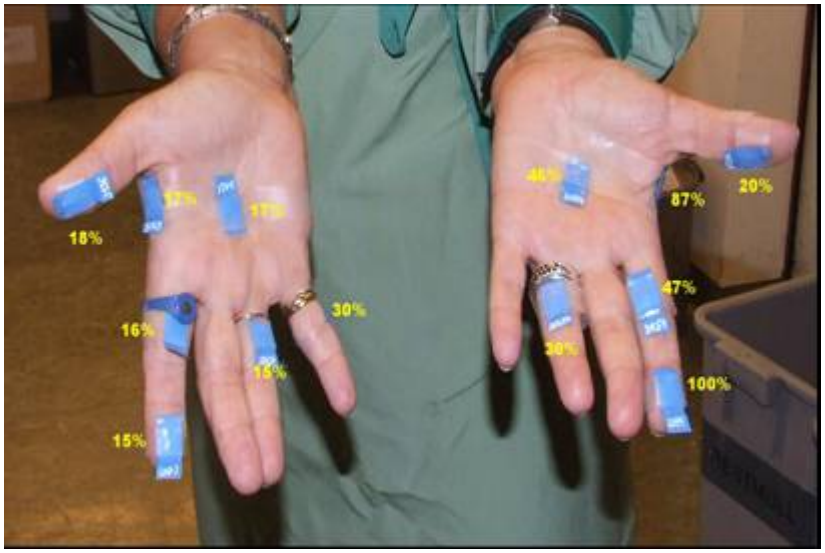


Abb. 6-6: Verteilung von $H_p(0,07)$ an den Händen bei einer Vorbereitung zur SIRT; Maximalwert: 0,8 mSv (100 %)

Untersucht wurden auch die Dosisanteile, die während verschiedener Handhabungsschritte des Umfüllvorgangs aus dem Transportvial in das Applikationsvial auftreten können. In Abb. 6-7 ist dies dargestellt. Hauptdosisanteile treten demnach beim Befüllen und Entleeren der Spritze auf.

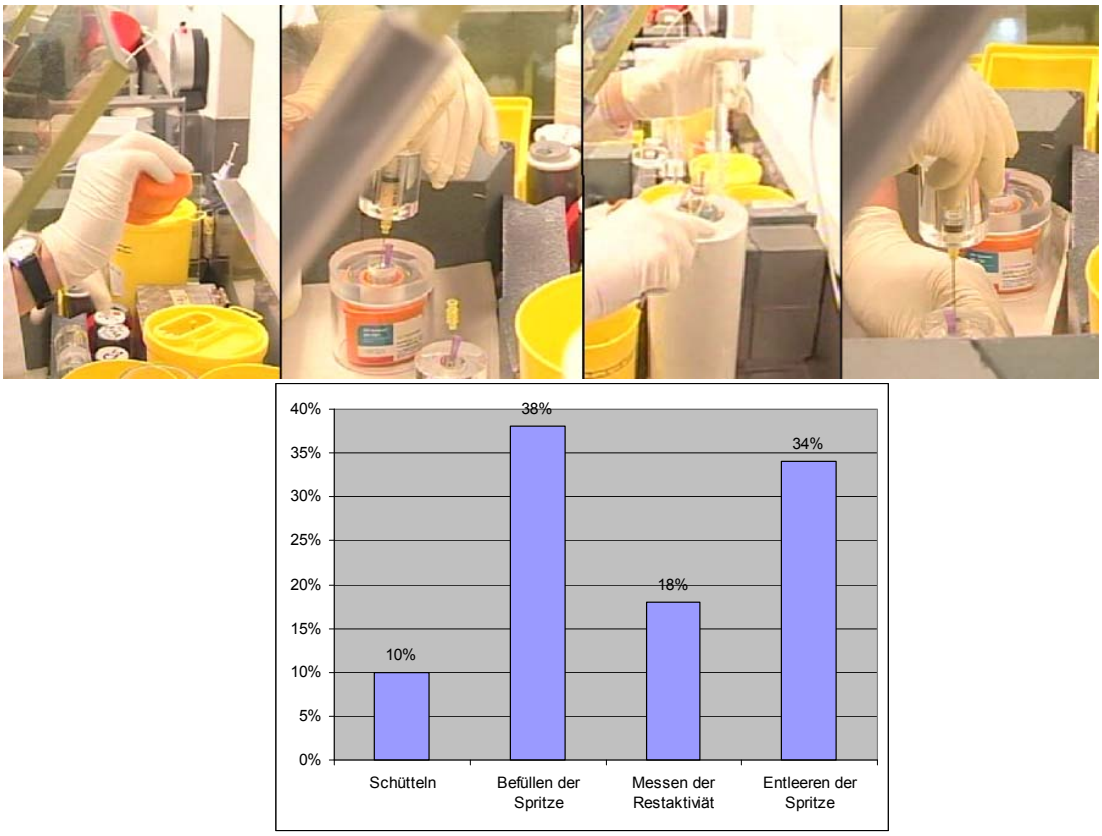


Abb. 6-7: Untersuchung der folgenden Teilschritte: das Schütteln, die Entnahme (Befüllen der Spritze), das Messen der Restaktivität, das Entleeren der Spritze (von links nach rechts)

Unter-suchung Nr.	max. Dosiswert pro Arbeitsvorgang [mSv]	Wert Dosimeter-Tragestelle [mSv]	Tragestelle Fingerring-dosimeter	Korrektur-Faktor	Dosiswert rechts, Ringfinger, Grundglied (innen) [mSv]	Korretur-faktor
1	3,68	0,4	rechts, Mittelfinger, Grundglied (innen)	9	0,04*	93
2	0,83	0,13	rechts, Zeigefinger, Grundglied (innen)	8	0,13	8
3	0,78	0,78	links, Zeigefinger, Innenkuppe	1	0,21	4
* Linkshänder, der Wert wurde hier an der linken Hand an gleiche Position ermittelt						

Tab. 6-1: Vergleich der gemessenen Maximalwerte für $H_p(0,07)$ zu den Werten an der Tragestelle des Fingerringdosimeters und am inneren Grundglied des Ringfingers

Weiterhin wurde die Fragestellung untersucht, inwieweit die maximalen Dosiswerte für $H_p(0,07)$ von den amtlichen Messungen mit Fingerringdosimetern abweichen kann. Dazu sind in Tab. 6-1 die Ergebnisse dreier Untersuchungen dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einer „Standardtragepo-

sition“ (rechter Ringfinger, Grundglied (innen)) Diskrepanzen bis fast zu einem Faktor 100 auftreten können. Bei einem geeigneteren Trageort reduzierte sich in dieser Untersuchung die Abweichung auf maximal einen Faktor 10; in einem Fall wurde das Dosimeter „optimal“ getragen, nämlich auf der Innenkuppe des Zeigefingers. Dort war der Wert des Fingerringdosimeters mit dem Maximalwert identisch. Jedoch ist dieser Trageort in vielen Fällen aufgrund einer möglichen Beeinflussung des Feingefühls beim Hantieren weniger geeignet.

Bei allen Arbeitsschritten, die für die Vorbereitung der SIRT nötig sind, wurden nicht vernachlässigbare Teilkörperdosen an den Händen ermittelt. Dabei kam es zu Dosisbelastungen an den verschiedenen Stellen der Hände; die Maximalwerte wurden meist an den Fingerkuppen der Zeige- und Mittelfinger gemessen.

Zur Optimierung des Strahlenschutzes werden Empfehlungen bezüglich der Handhabungen erarbeitet und eine Standardarbeitsanweisung erstellt, die gewährleistet, dass die Handhabung einheitlich und mit möglichst geringer Dosisbelastung ausgeführt werden kann. Weiterhin ist die Entwicklung verbesserter Abschirmungen vorgesehen.

Die durchgeführten Untersuchungen geben einen ersten Einblick in die Strahlenschutzsituation bei der SIRT. Sie sind als Anfangsuntersuchungen zu werten. Weitere werden noch folgen, um einerseits die Wirkung der vorgeschlagenen Verbesserungen zu überprüfen und weitere Optimierungsvorschläge zu erstellen, andererseits, um die vorliegenden stichprobenartigen Daten statistisch signifikanter werden zu lassen.

6.2.2 Numerische Simulation in inhomogenen Beta-/Photonen-Strahlungsfeldern

Ch. Blunck, F. Becker

Numerische Simulationen können bei der Untersuchung von Strahlenschutzproblemen als nützliches Werkzeug dienen. Sie können einen Beitrag für die Beantwortung von den Fragen liefern, bei denen die Messtechnik alleine nur schwer ans Ziel führen würde. Dies zeigte sich zum Beispiel während einer Untersuchung des Beta- und Photonenstrahlenfeldes oberhalb eines geöffneten Transportcontainers, in dem sich ein Fläschchen mit einer Y-90 Lösung für die Selektive Interne Radio Therapie befand. Für diese Therapie muss das medizinische Personal eine vorbestimmte Menge der Y-90 Lösung aus dem Fläschchen entnehmen. Da sich die Hände dabei oberhalb des geöffneten Transportcontainer befinden, ist es wichtig zu wissen, welche Dosisleistung dabei auftritt und wie deren lokale Verteilung aussieht. Nur so können Maßnahmen zur Verbesserung des Strahlenschutzes getroffen werden. Bereits vor den Untersuchungen wurde eine Plexiglasabschirmung von der Abteilung HS-KES entwickelt. Diese war so konstruiert, dass eine Aussparung im Deckelbereich eine Entnahme Y-90 Lösung bei aufgesetzter Abschirmung ermöglichte.

Für die Messungen der Dosisleistung wurden TLDs in einer kreuzförmigen Anordnung oberhalb des Containers platziert. Dabei wurden auch Fälle untersucht, bei denen der Container durch die Plexiglasabschirmung abgedeckt wurde. Obwohl die Container, genauso wie die Y-90 Fläschchen von gleicher Herstellungsart waren, variierten die Messergebnisse, auch unter gleichen Abschirmbedingungen, sehr. Die maximalen Dosiswerte schwankten in verschiedenen Messungen zwischen 1 und 9 mSv/h. Auch der Effekt der Abschirmung unterschied sich stark. In einigen Situationen war die Abschirmwirkung deutlich zu sehen, in anderen nur in geringem Maße. Ein Beispiel eines Messergebnisses, welches auch zum Vergleich bei den folgenden Simulationen mit dem Monte Carlo Code MCNPX diente, ist in Abb. 6-8 zu sehen. Die Messung erfolgte dabei nach der Entnahme der Y-90 Lösung. Bei den Kurven ist die Abschirmung durch das Plexiglas nur an den äußeren Punkten nahezu vollständig. Deshalb läge die Vermutung nahe, dass es sich bei der Strahlung, die die Dosis verursacht um Photonenstrahlung handele, da Elektronen durch die Plexiglasabschirmung weitestgehend abgeschirmt worden wären.

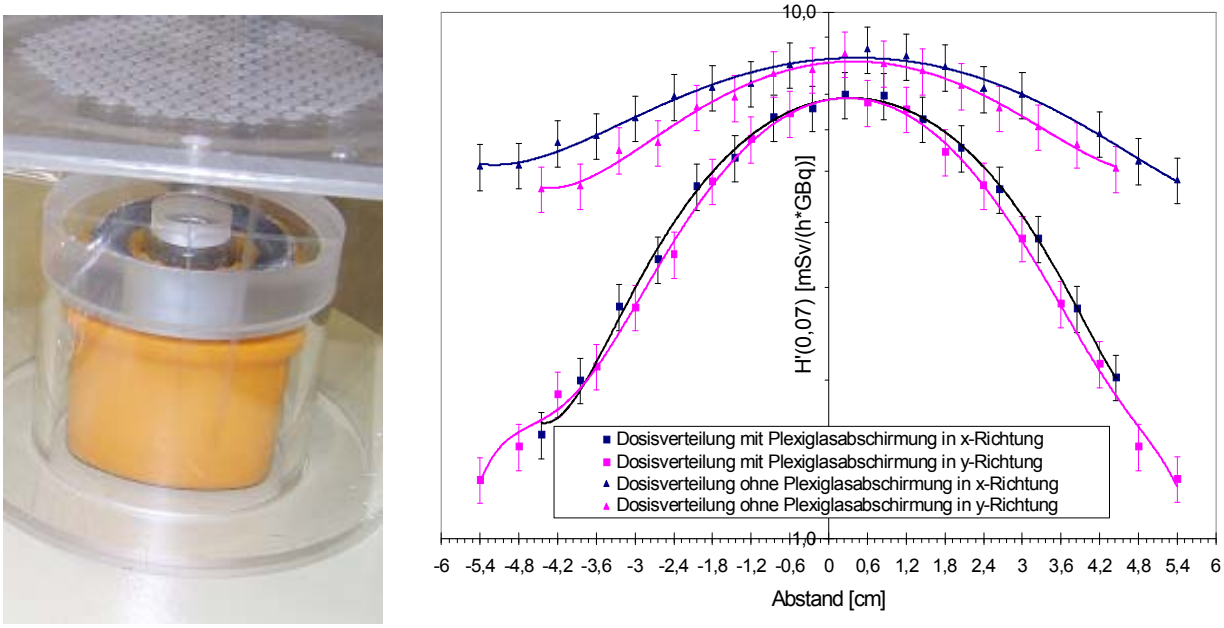

10,0
1,0
H'(0,07) [mSv/(h*GBq)]
Dosisverteilung mit Plexiglasabschirmung in x-Richtung
Dosisverteilung mit Plexiglasabschirmung in y-Richtung
Dosisverteilung ohne Plexiglasabschirmung in x-Richtung
Dosisverteilung ohne Plexiglasabschirmung in y-Richtung
-6 -5,4 -4,8 -4,2 -3,6 -3 -2,4 -1,8 -1,2 -0,6 0 0,6 1,2 1,8 2,4 3 3,6 4,2 4,8 5,4 6
Abstand [cm]

Abb. 6-8: Links: Messszenario mit Plexiglasabschirmung. Rechts: Dosisleistungsverteilung oberhalb des geöffneten Transportcontainers mit und ohne Plexiglasabschirmung [Nag07]

In einer Simulationen des Messszenarios zeigte sich eine von der Messkurve deutlich abweichende Form der Dosisleistungsverteilung (Abb. 6-9, rechts). Da das Fläschchen symmetrisch zur Längsachse ist, wurde die Dosis in Kreisringen bestimmt, um eine bessere Statistik zu erreichen. Deshalb sind in Abb. 6-9 keine negativen Abstandswerte eingezeichnet. Die Quelle wurde dabei auf den Boden des Fläschchens gesetzt (in Abb. 6-9, links in rot), da man beobachten kann, dass sich die Y-90 Kügelchen auf dem Boden absetzen. Die Werte sind in der Mitte des TLD Kreuzes geringer als weiter außen und insgesamt sehr viel kleiner als in der Messung. Der Grund für das Tal der Kurve in der Mitte des TLD Kreuzes ist im Deckel zu finden, der die Elektronen besser abschirmt als das Glas. Die höhere Dosis entsteht durch die Elektronen, die durch den Luftkanal zwischen Fläschchen und Container nach oben gelangen können. Zwar ist die Zahl der Photonen, die die TLDs erreichen auch in der Simulation um einen Faktor von bis zu 400 höher als die der Elektronen. Die Dosis, die die Photonen dabei deponieren, ist wegen des wesentlich geringeren Konversionsfaktors zwischen Fluenz und Dosis jedoch trotzdem geringer als die der Elektronen. Die Simulation konnte die Messkurve auf diese Weise nicht reproduzieren. Dadurch wurde jedoch klar, dass weder die Elektronen am Grund des Fläschchens, noch die Bremsstrahlung zu der Dosisleistungsverteilung der Messung führen konnten.

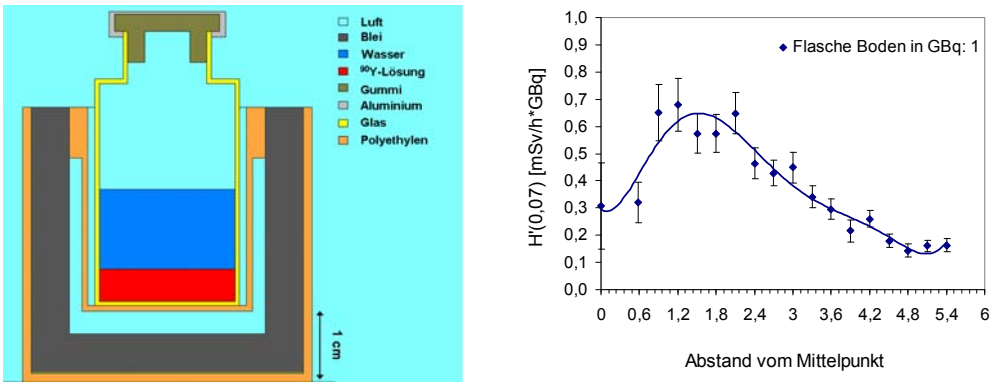


Abb. 6-9: Simulationsmodell des SIRT Fläschchens im geöffneten Transportcontainer

Da die Y-90 Lösung mit einer Spritze aus dem Fläschchen entnommen wurde, ist es möglich, dass beim Herausziehen der Nadel winzige Tropfen an der Deckeloberfläche hängenbleiben. Es zeigte sich, dass bereits die Simulation einer sehr geringen Kontamination oberhalb des Deckels zu einer Dosisleistungsverteilung führt, die denen der Messung sowohl mit, als auch ohne Plexiglasabschirmung, sehr viel näher kam, als diejenigen, die durch die Quelle im Flaschenboden entstand. Neben Kontaminationen auf dem Deckel ist auch eine Tropfenbildung durch Adhäsion innerhalb des Fläschchens, insbesondere unterhalb des Deckels möglich. Um diesen Erkenntnissen gerecht zu werden, wurden die Quellen in neuen Simulationen an verschiedenen Stellen platziert. Als mögliche Quellursprünge wurden dabei das in der Lösung homogen verteilte Y-90, das auf den Boden abgesunkene Y-90, sowie eine geringe Menge unterhalb und oberhalb des Deckels angenommen. Da sich die Dosisleistungen der einzelnen Quellen überlagern, ist es möglich für jeden Quellursprung eine eigene Simulation durchzuführen und die einzelnen Anteile im Nachhinein zu einer Gesamtdosisleistung zusammenzurechnen. So ist es leicht möglich, den einzelnen Quellen verschiedene Aktivität zuzuordnen und so verschiedene Aktivitätsverteilungen zu erzeugen, ohne diese jedes Mal neu zu simulieren. In Abb. 6-10 sind die Dosisleistungskurven für eine mögliche Quellverteilung dargestellt. Im linken Bild ist der Fall ohne, im rechten Bild der Fall mit Plexiglasabschirmung dargstellt. Bis auf den Teil, der homogen in der Lösung verteilt ist, ist die Quellverteilung identisch. Bei der Messung ohne Plexiglasabschirmung befinden sich die Y-90 Kugeln noch im Schwebezustand und sinken während der 30 Minuten langen Messung auf den Grund des Fläschchens. Deshalb wird die Aktivität in der Lösung für 10 Minuten als homogen verteilt und die restlichen 20 Minuten als auf den Boden abgesunken angenommen. Bei Messung mit der Plexiglasabschirmung sind die Y-90 Kugeln bereits auf dem Boden abgesunken. Der homogen verteilte Anteil der Quelle fällt deshalb aus der Summe heraus. Die Kontamination oberhalb des Deckels wurde als 0,4 MBq angenommen, was bei einer Gleichverteilung des Y-90 in der Lösung, einem Tropfen von knapp zwei Mikrolitern entsprechen würde. Unterhalb des Deckels befindet sich ein Tropfen mit der Aktivität 0,6 MBq und in der Lösung befinden sich 999 MBq. Insgesamt summiert sich die Aktivität so zu einem GBq.

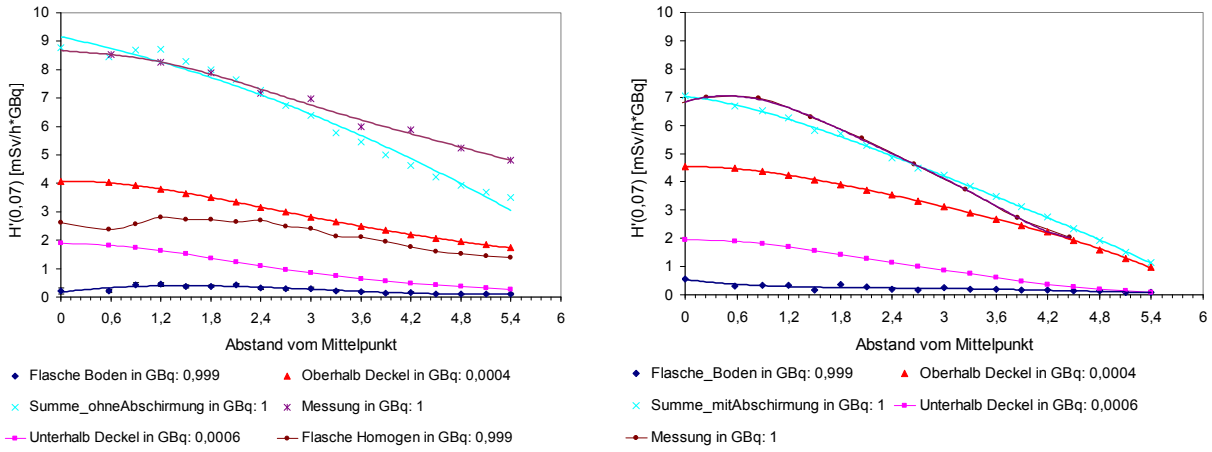

H'(0,07) [mSv/h*GBq]
Abstand vom Mittelpunkt
Flasche Boden in GBq: 0,999
Oberhalb Deckel in GBq: 0,0004
Summe_ohneAbschirmung in GBq: 1
Messung in GBq: 1
Unterhalb Deckel in GBq: 0,0006
Flasche Homogen in GBq: 0,999
H'(0,07) [mSv/h*GBq]
Abstand vom Mittelpunkt
Flasche_Boden in GBq: 0,999
Oberhalb Deckel in GBq: 0,0004
Summe_mitAbschirmung in GBq: 1
Unterhalb Deckel in GBq: 0,0006
Messung in GBq: 1

Abb. 6-10: Dosisleistungsverteilung bei verteilten Quellursprüngen. Die angegebenen Aktivitätswerte in der Legende zeigen den Anteil der jeweiligen Quelle an der Gesamtaktivität von 1 GBq an. (Links ohne, rechts mit Abschirmung)

Auch wenn die Messkurve und Simulationskurve noch nicht genau übereinstimmen, könnte diese Verteilung, die zu der Dosisleistungsverteilung oberhalb des Containers geführt hatte, auf diese Weise entstanden sein. Genauere Annäherung der Mess- und Simulationskurven wären durch weitere Veränderung oder hinzufügen weiterer Quellparameter möglich gewesen, dies war jedoch nicht das Ziel. Auch die verschiedenen Dosisleistungsverteilungen aus den anderen Messungen könnten durch die richtige Wahl der möglichen Quellverteilung durch die Simulation

reproduziert werden. So könnte für jeden Fall eine mögliche Begründung für die Form der Kurve gefunden werden. Die Simulationen haben in der Untersuchung des Strahlenfeldes oberhalb des geöffneten Transportcontainers einen wichtigen Beitrag geliefert. Sie trugen dazu bei, mögliche Gründe für die unterschiedlich hohen Dosiswerte in verschiedenen Messungen zu finden.

Mit dem Ziel die Dosisbestimmung in Beta- und Photonenfeldern zu optimieren, wurde bereits im letzten Jahr ein Handphantom für die Simulation entwickelt [Blu07]. Dieses wurde weiterentwickelt, indem ein Programm erstellt wurde, welches eine automatische Steuerung und Anpassung der Hand ermöglicht. Die Hand ist darin als kinematische Kette aufgebaut. Sie besteht aus einzelnen Gliedern (Neben den Fingergliedern fungiert auch die Mittelhand als ein Glied der Kette), die hierarchisch miteinander verknüpft sind. Diese Glieder der Kette sind in sich starre Körper, die durch die Gelenke miteinander verbunden sind. Die Gelenke bilden die Ursprünge der jeweils ortsfesten Koordinatensysteme der einzelnen Glieder. Die Bewegung eines Gliedes erfolgt durch Transformation dieses Koordinatensystems. An oberster Stelle in der Hierarchie steht die Mittelhand, welche durch das Handgelenk sowohl transliert, als auch rotiert werden kann. Danach kommen nacheinander die einzelnen Fingerglieder, die ebenfalls durch die Gelenke bewegt werden können, allerdings können diese nur rotiert werden. Glieder der Kette, welche in der Hierarchie weiter unten stehen, führen die Transformationen von allen weiter oben stehenden Gliedern nacheinander mit aus. Das heißt durch die Transformation der Mittelhand, folgen die Finger und der Daumen dieser Transformation automatisch.

Bsp.: Transformationsmatrix des Handgelenks:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \cos\Theta_{x'x} & \cos\Theta_{x'y} & \cos\Theta_{x'z} & t_x \\ \cos\Theta_{y'x} & \cos\Theta_{y'x} & \cos\Theta_{y'x} & t_y \\ \cos\Theta_{z'x} & \cos\Theta_{z'x} & \cos\Theta_{z'x} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bsp.: Transformation eines Fingerendgliedes:

$$DP_{t+1} = \mathbf{W} \cdot (\mathbf{MCP} \cdot (\mathbf{PIP} \cdot (\mathbf{DIP} \cdot DP_t)))$$

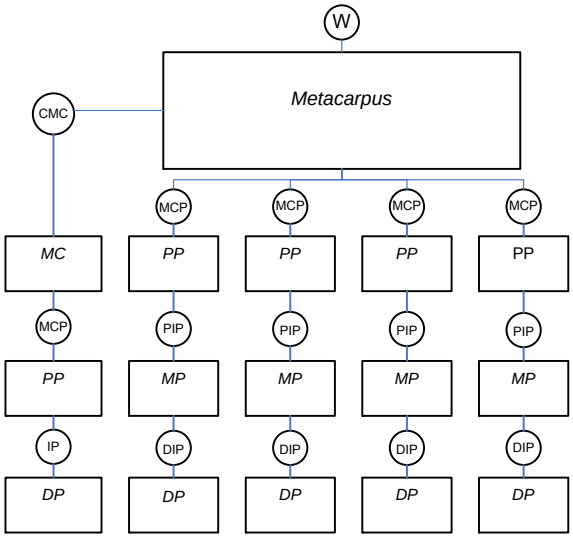


Abb. 6-11: Schematische Darstellung der kinematischen Kette der Hand. Kreise symbolisieren Gelenke, über deren Transformationsmatrizen die Glieder bewegt werden. Rechtecke stehen für die starren Glieder. Links ist die Transformation beispielhaft erklärt. (Abk.: W:Wrist, CMC: Carpometacarpol joint, MCP: Metacarpophalangeal joint, PIP:Proximal interphalangeal, DIP: Distal interphalangeal, IP: Interphalangela, MC: Metacarpal, PP: Proximal phalange, MP: Middle phalange, DP: Distal phalange)

Um die Steuerung interaktiv zu ermöglichen, ist eine Visualisierung unverzichtbar. Dafür diente das Visualisation Toolkit [Kitwares VTK-Homepage: http://www.vtk.org/]. Dieses ermöglichte die Umsetzung in einem Programm mit grafischer Benutzeroberfläche, in dem die Hand, sowie verschiedenen Objekte, modelliert werden können. Anschließend ist eine automatische Erzeugung eines MCNPX Input-files und damit die Simulation des Szenario möglich.

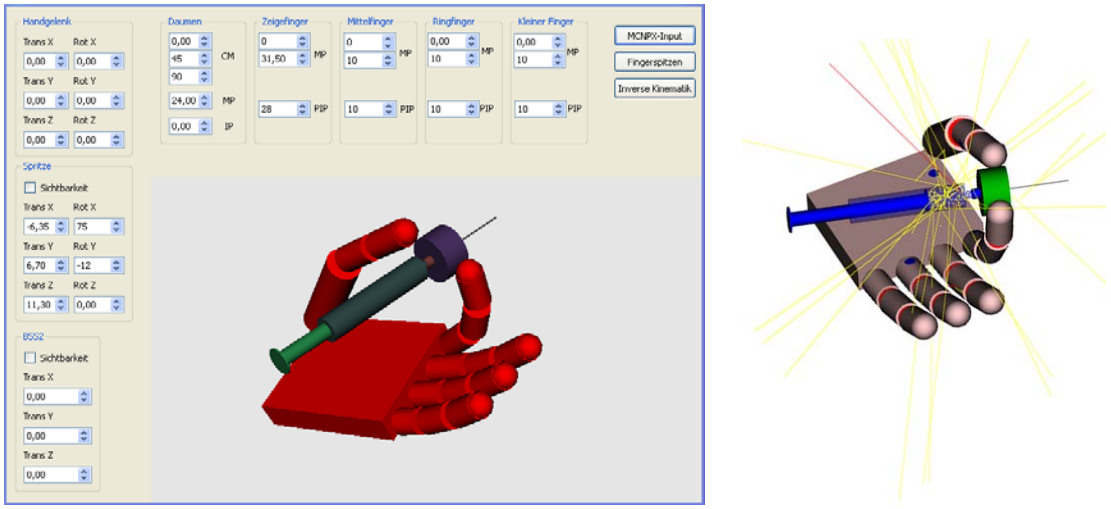


Abb. 6-12: Grafische Benutzeroberfläche für die Modellierung. Rechts: Nach Übernahme in den MCNPX Code, visualisiert mit SABRINA [http://www.whiterockscience.com/]

6.2.3 Hybridmodelle für die externe Dosimetrie

F. Becker, G. Zhang, Z. Guo (China Institute for Radiation Protection)

Für die Beschreibung von Wechselwirkungen von Teilchen mit Materie gibt es verschiedene Modelle. Werden verschiedene Modelle, die unterschiedliche Eigenschaften beschreiben können, kombiniert, sprich man von Hybridmodellen.

In der externen Dosimetrie werden für Simulationen Monte Carlo Methoden eingesetzt, die es erlauben, Transportrechnungen für verschiedene Teilchen in gegebener Geometrie durchzuführen.

Von der Abteilung HS-KES wird hauptsächlicht das Programm MCNPX verwendet, um den Transport von Elektronen, Photonen und/oder Neutronen in Materie zu simulieren. Diese Simulationen stellen die Information über den Kollisionsort im Target zur Verfügung und geben statistische Informationen über die Position und Statistik der Rückstosskerne sowie dem Energieübertrag für jede Wechselwirkung mit den Targetatomen an. Das Programm MCNPX gibt also die Informationen über den Teilchentransport.

Um an die Information über die Auswirkungen der Teilchenwechselwirkung im Festkörper zu gelangen, wurde das Monte Carlo Programm TRIM (TRansport of Ions im Matter) eingesetzt.

Dieses Programm berechnet aus den Informationen des Teilchentransports den grundlegenden Energietransfer an Targetelektronen und -kerne und die damit verbundenen Defektproduktionen im Festkörper. Mit dem Hybridmodell MCNPX / TRIM ist es also insbesondere möglich, Kernspuren in Targetmaterialen zu untersuchen(siehe Abb. 6-13). Nach einer Voruntersuchung zu Simulationen von Kernspurdetektoren mit diesem Hybridmodell vom Gastwissenschaftler Herrn Guo (China Institute for Radiation Protection), ist dieses Thema nun Teil der Dissertation von Herrn Zhang.

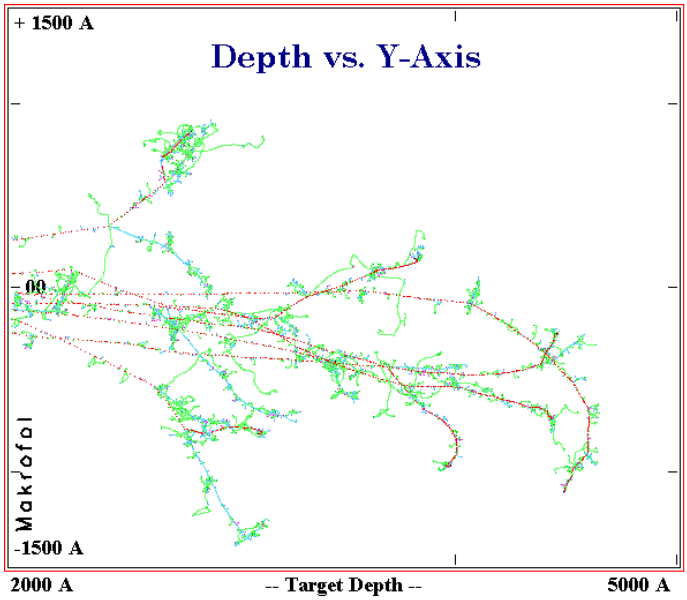


Abb. 6-13: Typisches Simulationsergebnis von „Damage cascades“ induziert durch ^{12}C-Atome (100 keV) in Makrofol

6.2.4 Monte-Carlo-Simulationen zur Cf-252 Quelle im Kalibrierlabor

M. A. Harrendorf, F. Becker

Die Hauptabteilung Sicherheit - Kompetenzerhalt im Strahlenschutz (HS-KES) setzt in ihrem Kalibrierlabor eine Californium-252 Neutronenquelle ein, mit der in einer rückstreuarmen Holzhalle unter anderem Prüfungen und Kalibrierungen von Neutronenmessgeräten bzw. Dosimetern und Bestrahlung von Prüflingen durchgeführt werden. Die Dosisleistung der 2002 angeschafften und 2003 in Betrieb genommenen Californium-252 Quelle ist auf Grund der kurzen Halbwertszeit von 2,645 Jahren – mit 0,08 mSv/h Neutronendosisleistung in 0,6 m Abstand – nur noch gering. Es ist daher geplant, die alte Californium-Quelle durch eine neue mit höherer Aktivität und folglich auch größerer Dosisleistung zu ersetzen. Deswegen wurde in einer Projektarbeit (Marco A. Harrendorf, Berufsakademie Karlsruhe) untersucht, welche Aktivität eine neue Californium-Quelle haben kann, wenn die Genehmigungswerte und Grenzwerte nach Strahlenschutzverordnung eingehalten werden sollen.

Zu diesem Zweck wurde unter anderem ein Modell der Holzhalle des Kalibrierlabors und der Californium-Quelle für das Simulationsprogramm MCNP5 (Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5) entwickelt und Berechnungen zur Dosisleistung an relevanten Punkten (Aufenthaltsplätze, Absperrgrenze Kontrollbereich-Überwachungsbereich usw.) durchgeführt. Anschließend wurden die berechneten Dosisleistungswerte mit den Ergebnissen einer Messung am 14.08.2008 verglichen, um das Simulationsmodell zu überprüfen.

Californium-Neutronen-Quellen

Bei Californium handelt es sich um ein künstliches Element, das in der Nuklidkarte noch über dem Uran und Plutonium angesiedelt ist. Alle Isotope des Californiums sind radioaktiv und einige unter ihnen geben durch einen Spontanzerfall Neutronen ab. Besonders geeignet für die technische Anwendung als Neutronen-Quelle ist hierbei das Cf-252, weil es mit $1{,}984 \times 10^{13}$ Becquerel pro Gramm eine hohe spezifische Aktivität und mit $3{,}096 \times 10^{-2}$ eine hohe Wahrscheinlichkeit für den spontanen Zerfall besitzt. Allerdings ist daher die Halbwertszeit gering. Californium-Quellen bestehen aus einem Gemisch von mehreren Cf-Isotopen, weil bei der Herstellung und Verarbeitung die Isolation von einem einzigen Cf-Isotop praktisch nicht zu erreichen ist. Die

Tab. 6-2 gibt einen Überblick über die in einer „repräsentativen“ Californium-Quelle vorkommenden Isotope.

Isotop	Halbwertszeit	Spezifische Aktivität	Wahrscheinlichkeit für Spontanzerfall	Durchschnittliche Neutronenemission
Cf-249	350,6 a	$1{,}515 \times 10^{11}$ Bq/g	$5{,}2 \times 10^{-9}$	3,4
Cf-250	13,08 a	$4{,}044 \times 10^{12}$ Bq/g	$7{,}9 \times 10^{-4}$	3,53
Cf-251	898 a	$5{,}88 \times 10^{11}$ Bq/g	$9{,}0 \times 10^{-6}$	3,7
Cf-252	2,645 a	$1{,}984 \times 10^{13}$ Bq/g	$3{,}096 \times 10^{-2}$	3,768
Cf-253	17,81 d	$1{,}072 \times 10^{15}$ Bq/g	Kein Spontanzerfall	
Cf-254	60,5 d	$3{,}144 \times 10^{14}$ Bq/g	$9{,}9701 \times 10^{-1}$	3,93

Tab. 6-2: Isotope in einer Californium-Quelle (aus [Aea02] und [Rob07])

Die Isotopenzusammensetzung der Californium-Quelle

Die verschiedenen Isotope des Californiums unterscheiden sich zum Teil erheblich in Bezug auf ihre Halbwertszeit, ihrer Zerfallsenergie, ihrer Zerfallswahrscheinlichkeit und ihrer Zerfallsart. Deshalb ist es nötig, die genaue Isotopenverteilung der Quelle zu einem bestimmten Zeitpunkt zu kennen, wobei sich die Isotopenverteilung mit der Zeit ändert.

Die Tab. 6-3 gibt die Verteilung der dort genannten Isotope zum jeweiligen Zeitpunkt für die Californium-Quelle des Kalibrierlabors wieder. Die Werte für den Zeitpunkt 25.02.2002 wurden hierbei den Herstellerangaben [Aea02] entnommen und aus diesen über das Zerfallsgesetz die Werte für die Zeitpunkte 19.02.2003 und 14.08.2008 berechnet.

Datum	Isotopenverteilung					
	Cf-249	Cf-250	Cf-251	Cf-252	Cf-253	Cf-254
25.07.2002	5,76 %	9,22 %	2,85 %	81,99 %	<0,165 %	<0,018 %
19.02.2003	6,53 %	10,15 %	3,23 %	80,08 %	<0,165 %	<0,018 %
14.08.2008	17,80 %	20,92 %	8,87 %	52,40 %	<0,165 %	<0,018 %

Tab. 6-3: Zeitabhängige Isotopenverteilung der Californium-Quelle

Die Neutronenaktivität der Californium-Quelle

Man sieht in Tab. 6-3 sehr deutlich, dass die Häufigkeit des Californium-252 in der Quelle über den Zeitverlauf deutlich abgenommen hat, auf die Aktivitätsverteilung hat dies allerdings nur einen geringen Einfluss. Denn zur Neutronenaktivität einer Californiumquelle können zwar neben Cf-252 auch die Isotope Cf-249, Cf-250 und Cf-254 beitragen, jedoch nimmt erst zum Ende der vom Hersteller empfohlenen Betriebsdauer von 15 Jahren [Lor80] die Neutronenaktivität soweit ab, dass bereits fast 10% der gesamten Neutronen von Cf-250 stammen, wie die Untersuchung in [Geh04] zeigte. Dieser Zustand ist bei der Neutronenquelle des Kalibrierlabors noch nicht erreicht, da die Betriebsdauer erst ca. 6 Jahre beträgt. Das Cf-250 trägt vorher, da es mit 13.08 a eine wesentlich längere Halbwertszeit als das Cf-252 besitzt und ursprünglich auch einen geringeren Anteil am Isotopengemisch hatte, nur gering zur Neutronenaktivität bei. Die Cf-Isotope 249 und 254 brauchen für die Neutronenaktivität nicht berücksichtigt werden; die Halbwertszeit des Cf-249 ist sehr hoch und sein Anteil am Isotopengemisch sehr gering und Cf-254 weist eine sehr kurze Halbwertszeit auf, so dass dessen größter Anteil bei Inbetriebnahme der Quelle nach einem halben Jahr bereits zerfallen ist. Cf-252 zerfällt zu Curium-248, wel-

ches ebenfalls unter Neutronenemission spontan zerfallen kann. Der Einfluss von Curium-248 auf die Neutronenemissionsrate ist jedoch auch nach 15 Jahren mit weniger als einem Prozent sehr gering, was auf die lange Halbwertszeit von $3{,}48 \times 10^5$ a zurückzuführen ist [Rob07].

Die Abb. 6-14 gibt die zeitliche Veränderung der Neutronenemissionsrate für typische Californiumquellen wieder.

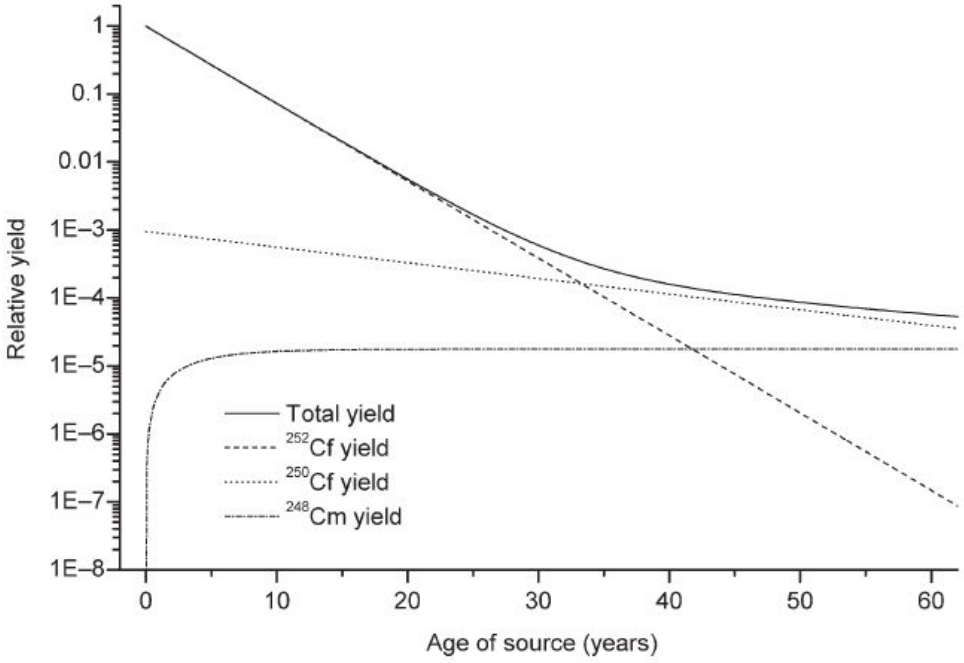


Abb. 6-14: Zeitliche Veränderung der Neutronenemissionsrate für Californiumquellen [Rob07]

Die Neutronenaktivität der Californium-Quelle wurde unter anderem für den 14.08.2008 berechnet und ist in Tab. 6-4 aufgeführt.

Isotop	Anzahl Atomkerne	Neutronenaktivität
Cf-249	$9{,}16 \times 10^{14}$	$1{,}02 \times 10^{-3}$ Bq
Cf-250	$1{,}08 \times 10^{15}$	$5{,}05 \times 10^{3}$ Bq
Cf-251	$4{,}57 \times 10^{14}$	$3{,}72 \times 10^{-1}$ Bq
Cf-252	$2{,}70 \times 10^{15}$	$2{,}61 \times 10^{6}$ Bq
Cf-254	$5{,}07 \times 10^{1}$	$2{,}57 \times 10^{-5}$ Bq
Gesamt	$5{,}15 \times 10^{15}$	$2{,}62 \times 10^{6}$ Bq

Tab. 6-4: Neutronenaktivität der Californium-Quelle am 14.08.2008

Simulation der Californium-Quelle mit MCNP5

Zur Simulation der Californium-Quelle mit MCNP5 muss das Energiespektrum von Cf-252 als Parameter übergeben werden, d.h. es ist die Häufigkeit der durch spontanen Zerfall emittierten Neutronen in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen kinetischen Anfangsenergie anzugeben.

Bei den Berechnungen mit MCNP5 wurde nur das Energiespektrum von Cf-252 eingesetzt, weil der Einfluss der anderen neutronenemittierenden Isotope auf das Energiespektrum als gering

angesehen werden kann. Das Energiespektrum von Cf-252 wird in MCNP typischerweise auf drei verschiedene Arten beschrieben:

- Die Angabe der Energieverteilung über das Watt-Fission-Spektrum
- Die Angabe der Energieverteilung über berechnete diskrete Werte aus der Maxwellschen Energieverteilung
- Die Angabe der Energieverteilung über gemessene diskrete Werte

Bei der Simulation der Cf-252 Quelle des Kalibrierlabors wurde die Neutronenenergieverteilung mittels gemessener Werte nach Mannhart [Man87] eingesetzt, da sie bis heute zu den akkuratesten zählt und die theoretische Beschreibung des Spektrums durch die Watt- oder Maxwell-Verteilung nicht deren Genauigkeit erreicht.

Die Geometrie in der Simulation

Die Cf-Quelle befindet sich im Quellenbunker des Kalibrierlabors und wird für Bestrahlungen in eine Quellenhalterung in der Holzhalle des Kalibrierlabors gefahren. Zur Positionsbestimmung der Dosisleistung innerhalb und außerhalb des Kalibrierlabors wurden Baupläne verwendet und außerdem wurde die Holzhalle auch von Hand vermessen. Dabei wurde der Ursprung des Koordinatensystems so festgelegt, dass er auf dem Mittelpunkt der Quellaufhängung liegt (Abb. 6-15).

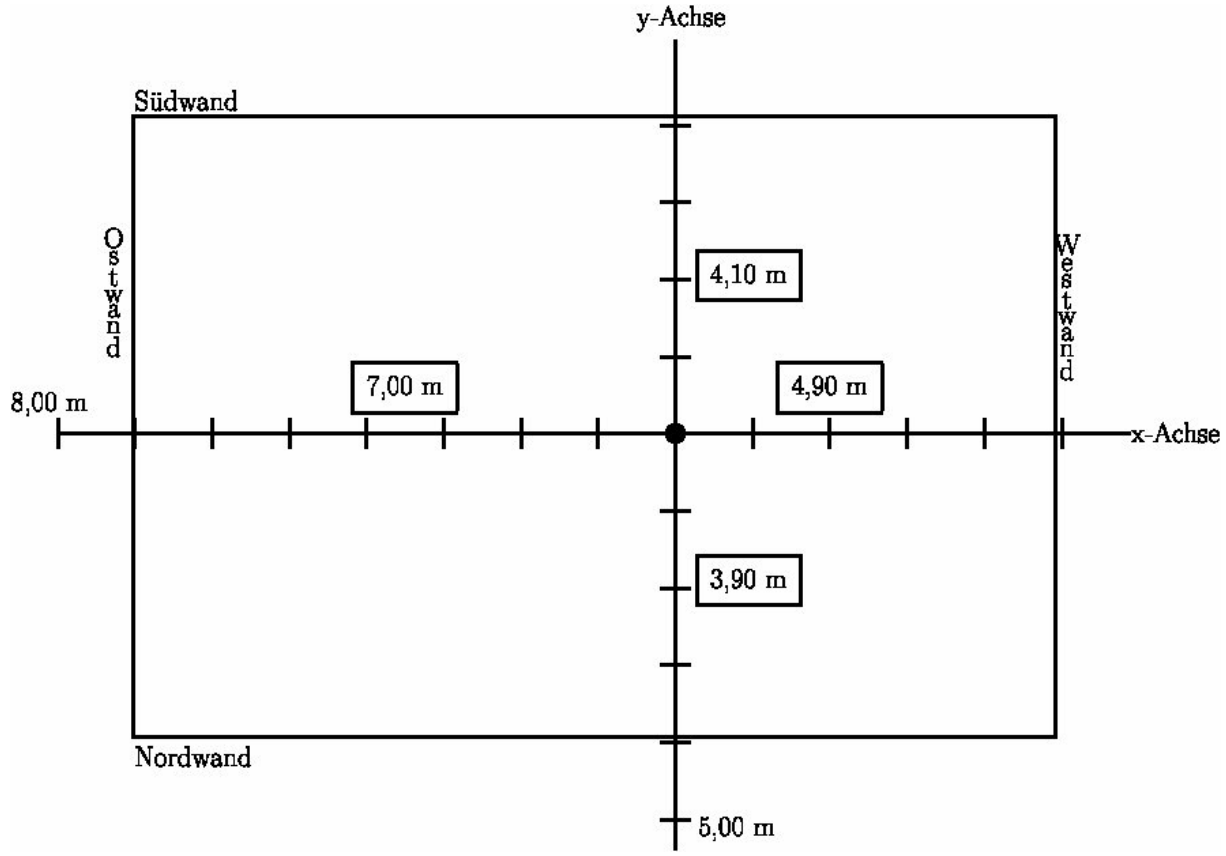


Abb. 6-15: Koordinatensystem der Holzhalle für Dosisbestimmungen. Die z-Achse steht senkrecht zur xy-Ebene

Der Abstand der Ostwand vom Koordinatenursprung innerhalb dieses Koordinatensystem beträgt dann minus 7 Meter in x-Richtung, die Westwand ist plus 4,9 Meter in x-Richtung entfernt. Die Nordwand liegt minus 3,9 Meter in y-Richtung und die Südwand ist plus 4,1 Meter in

y-Richtung entfernt. In Abb. 6-15 ist das Koordinatensystem in der horizontalen xy-Ebene und in Abb. 6-16 die Simulationsgeometrie dargestellt.

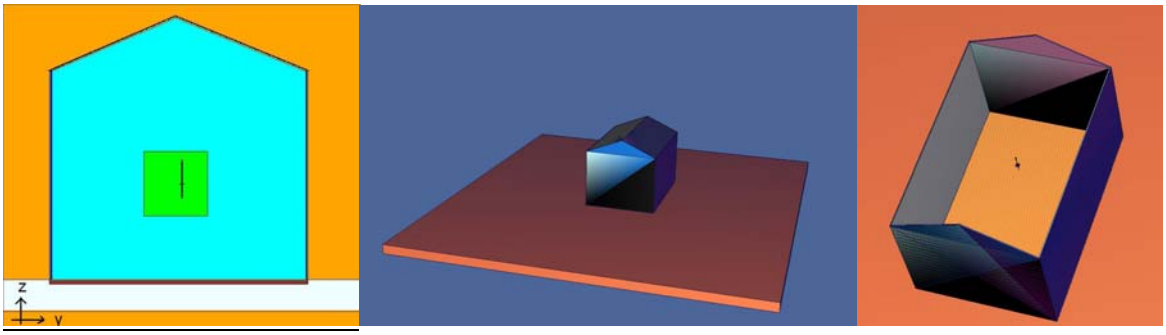


Abb. 6-16: Links: Simulationsgeometrie für die Holzhalle in der yz-Ebene (weiß: Erdboden; grün, orange, hellblau: Luft; dunkelblau: Holzwand, Mittelpunkt des Kreuzes in Bildmitte: Quellenposition; dunkelbraun: Boden. Mitte: 3D-Ansicht der Holzhalle (Halle in schwarz-blau, Boden in braun). Rechts: Blick aus der Vogelperspektive ohne Dach

Ergebnisse der Simulationen

Für verschiedene Messpunkte (Abb. 6-17, Tab. 6-5) wurde die Dosisleistung für Neutronen durch den Einsatz von Punktdetektoren (F5-Tally) in MCNP5 bestimmt. Hierzu wurden den Simulationen das Ansprechvermögen des Neutronendosisleistungsmessgeräts LB 6411 der Firma Berthold [Ber95], das Energiespektrum nach Mannhart [Man87] und die Dosiskonversationsfaktoren zur Umrechnung der Neutronenflussdichte φ in die Umgebungsäquivalentdosis H*(10) nach ICRP 74 [ICRP74] zugrunde gelegt. Weiterhin wurde bei den Simulationen die Emission von einem Neutron pro Sekunde angenommen. Einige ausgewählte Simulationsergebnisse, d.h. die Neutronenflussdichte φ_A für alle Neutronen und φ_U für ungestreute Neutronen sowie die Umgebungsäquivalentdosisleistung H*(10, A) für alle und H*(10, U) für die ungestreuten Neutronen, sind in der Tab. 6-5 zusammengefasst.

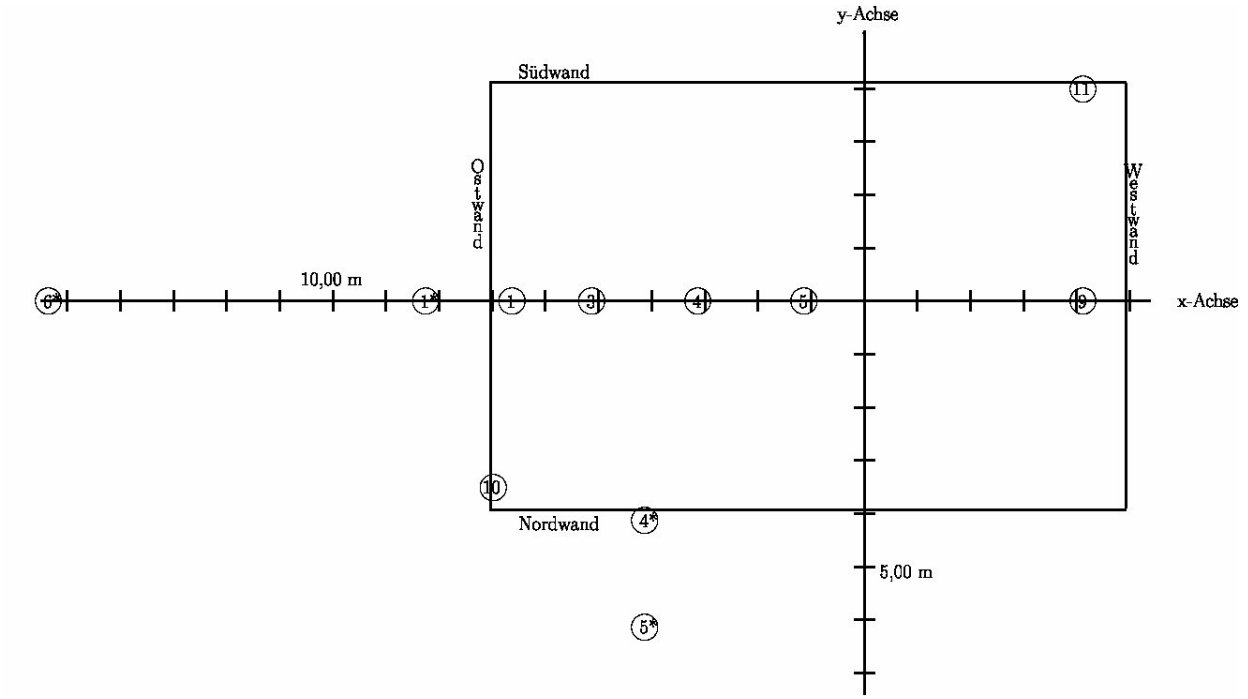


Abb. 6-17: Übersicht über die Lage ausgewählter Messpunkte. Mit Stern gekennzeichnete Punkte liegen außerhalb der Holzhalle

Messpunkt		Neutronen			
Mess-punktnr.	Messpunktbeschreibung	φ_A	φ_U	$\dot{H}^*(10,A)$	$\dot{H}^*(10,U)$
1	Vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$8{,}28x10^{-7}$	$1{,}12x10^{-7}$	$1{,}11x10^{-4}$	$4{,}37x10^{-5}$
3	Ein Meter vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$9{,}85x10^{-7}$	$1{,}69x10^{-7}$	$1{,}54x10^{-4}$	$6{,}57x10^{-5}$
4	Vier Meter vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$1{,}38x10^{-6}$	$3{,}09x10^{-7}$	$2{,}61x10^{-4}$	$1{,}20x10^{-4}$
5	Sechs Meter vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$1{,}71x10^{-6}$	$4{,}04x10^{-7}$	$3{,}51x10^{-4}$	$1{,}58x10^{-4}$
9	Vor der Südwand innerhalb der Holzhalle	-	-	$2{,}07x10^{-4}$	$8{,}85x10^{-5}$
10	In der Nordostecke der Holzhalle	$7{,}10x10^{-7}$	$8{,}29x10^{-8}$	$8{,}71x10^{-5}$	$3{,}22x10^{-5}$
11	In der Südwestecke der Holzhalle	$9{,}81x10^{-7}$	$1{,}48x10^{-7}$	$1{,}42x10^{-4}$	$5{,}73x10^{-5}$
6*	Absperrgrenze Ostseite	$8{,}18x10^{-8}$	$1{,}49x10^{-8}$	$1{,}70x10^{-5}$	$5{,}82x10^{-6}$
1*	Eingangstür Holzhalle Ostseite	$3{,}11x10^{-7}$	$4{,}99x10^{-8}$	$6{,}69x10^{-5}$	$1{,}94x10^{-5}$
4*	Durchgang zwischen Holzhalle und Leitstand	$6{,}34x10^{-7}$	$1{,}37x10^{-7}$	$1{,}27x10^{-4}$	$5{,}33x10^{-5}$
5*	Am Leitstand des Kalibrierlabors	$2{,}87x10^{-7}$	$2{,}46x10^{-8}$	$4{,}64x10^{-5}$	$1{,}00x10^{-5}$

Tab. 6-5: Auszug der Simulationsergebnisse für die Cf-252 Quelle, Neutronenflussdichte in [$cm^{-2} * s^{-1}$]; Umgebungsäquivalentdosisleistung in $\left[\frac{pSv}{s \times Bq}\right]$; mit Stern gekennzeichnete Messpunkte liegen außerhalb der Holzhalle

Die Simulationen zeigen, dass die Cf-Quelle, die am 14.08.2008 eine Neutronenaktivität von $2{,}62x10^6$ Bq hatte, den gesetzlichen Grenzwert von einem Millisievert pro Jahr an der Absperrgrenze einhält. Zum Beispiel ergibt sich für den Messpunkt 6* bei einer jährlichen Aufenthaltszeit von 2 000 Stunden eine geschätzte Umgebungsäquivalentdosis von

$$H^*(10) = 2{,}62x10^6\,Bq \times 1{,}70x10^{-5}\,\frac{pSv}{s \times Bq} \times 3600\,\frac{s}{h} \times 2000\,\frac{h}{a} = 0{,}32\,mSv/a.$$

Für eine neu zu beschaffenden Cf-Quelle sollte nach den Simulationen die Neutronenaktivität 8 MBq nicht überschreiten, um unter 1 mSv zu bleiben.

Vergleich der Simulationen mit Messungen

Am 14.08.2008 wurden zur Überprüfung der Simulationsergebnisse Messungen an der Cf-Quelle durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit dem Neutronendosisleistungsmessgerät LB 6411 der Firma Berthold [Ber95]. Für den Vergleich wurden die gemessenen Dosisleistungen, die bei einer Neutronenaktivität von $2{,}62 \times 10^6$ Bq gemessen worden waren, für eine Neutronenaktivität von einem Neutron pro Sekunde umgerechnet.

Es konnte gezeigt werden, dass die Simulationen die realen Bedingungen in guter Näherung (Tab. 6-6) wiedergeben. Die Abweichung zwischen Simulation und Messung betrug für die meisten Messpunkte unter 20 %, wobei das bei der Messung eingesetzte Messgerät selbst eine Messunsicherheit von +/- 20 % aufweist.

Messpunkt		Simulation	Messung	Abweichung
Mess-punktnr.	Messpunktbeschreibung	$\dot{H}^*(10)$	$\dot{H}^*(10)$	
1	Vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$1{,}11 \times 10^{-4}$	$1{,}03 \times 10^{-4}$	-8 %
3	Ein Meter vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$1{,}54 \times 10^{-4}$	$1{,}66 \times 10^{-4}$	8 %
4	Vier Meter vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$2{,}61 \times 10^{-4}$	$2{,}54 \times 10^{-4}$	-3 %
5	Sechs Meter vor der Ostwand innerhalb der Holzhalle	$3{,}51 \times 10^{-4}$	$2{,}96 \times 10^{-4}$	-19 %
9	Vor der Südwand innerhalb der Holzhalle	$2{,}07 \times 10^{-4}$	$2{,}30 \times 10^{-4}$	10 %
10	In der Nordostecke der Holzhalle	$8{,}71 \times 10^{-5}$	$9{,}23 \times 10^{-5}$	6 %
11	In der Südwestecke der Holzhalle	$1{,}42 \times 10^{-4}$	$1{,}22 \times 10^{-4}$	-16 %
6*	Absperrgrenze Ostseite	$1{,}70 \times 10^{-5}$	$1{,}63 \times 10^{-5}$	-4 %
1*	Eingangstür Holzhalle Ostseite	$6{,}69 \times 10^{-5}$	$7{,}55 \times 10^{-5}$	11 %
4*	Durchgang zwischen Holzhalle und Leitstand	$1{,}27 \times 10^{-4}$	$1{,}11 \times 10^{-4}$	-15 %
5*	Am Leitstand des Kalibrierlabors	$4{,}64 \times 10^{-5}$	$4{,}27 \times 10^{-5}$	-9 %

Tab. 6-6: Vergleich zwischen Simulationen und Messungen (ausgewählte Messpunkte). Umgebungsäquivalentdosisleistung in $\left[\frac{pSv}{s \times Bq}\right]$; mit Stern gekennzeichnete Messpunkte liegen außerhalb der Holzhalle.

Anschaffung einer Californium-Quelle

Bei der Anschaffung einer neuen Californium-Quelle für das Kalibrierlabor sind diverse Faktoren zu berücksichtigen. Nachfolgend einige wichtige Punkte:

- Einhaltung der Genehmigungswerte nach der Genehmigung K 113/89 [UMBW07]
- Einhaltung des Jahresgrenzwerts von 1 mSv an der Absperrgrenze für eine Aufenthaltszeit von 2000 Stunden
- Einhaltung der Grenzwerte für beruflich exponiertes Personal der Kategorie B bzw. A beim Einbau und Betrieb der neuen Quelle
- Kauf einer Quelle mit geringen Toleranzen in der Isotopenzusammensetzung
- Kauf einer Quelle mit geringen Toleranzen bei der nominellen Aktivität
- Kauf einer Quelle mit möglichst großer Neutronenaktivität
- Kauf einer Quelle mit geringem Anteil an Gammastrahlung

6.2.5 Shielding calculations for a transport tank for intermediate level liquid wastes

G. Zhang, F. Becker, G. Cai (HDB)

Monte Carlo simulations were carried out to determine the thickness of the lead shielding for a transport tank for ILLW. The design draft of the tank for ILLW is shown in *Abb. 6-18*. The tank consists of a steel container and a shielding vessel. The pipelines in the tank are used to continually mix the liquid to keep the waste homogeneous and to prevent suspended or dissolved solid matter in the liquid to settle and encrust the tank wall. The tank will be shielded to reduce the external dose rate. With the code MCNPX the shielding dependent dose rate outside the tank has been calculated.

Requirements and properties

1. The full loaded transport tank with shielding should satisfy the following conditions: The dose rate at the surface should be below or equal 2 mSv/h, and at a distance of 2 m from the side surface of the tank below or equal 0.1 mSv/h.
2. Dimension of the device: For transportation purpose the total height of the tank should not exceed 3.0 m
3. Design parameters for the ILLW transport tank:
   - Effective volume: 1.0 m^3
   - Working temperature: 18-25°C
   - Internal working pressure: 0.4 MPa
   - External working pressure: 0.09 MPa
4. Nuclides in the liquid waste: Y-90, Sr-90, Pu-239, Cs-137, Co-60, Ba-133m, Am-242.
5. Co-60 is regarded as the source term nuclide in the shielding calculations. The specific radioactive activity of the transport liquid waste amounts to 4×1011 Bq/m3.

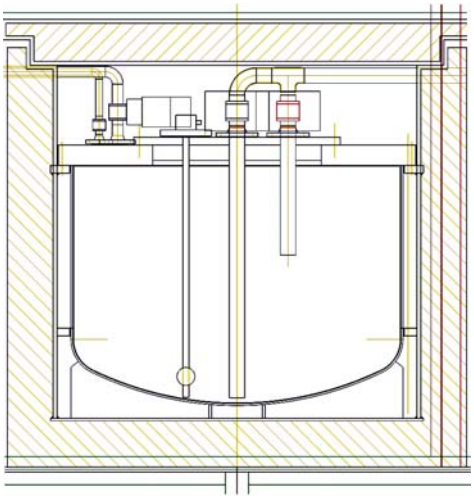


Abb. 6-18: Design draft of the tank with pipelines and shielding.

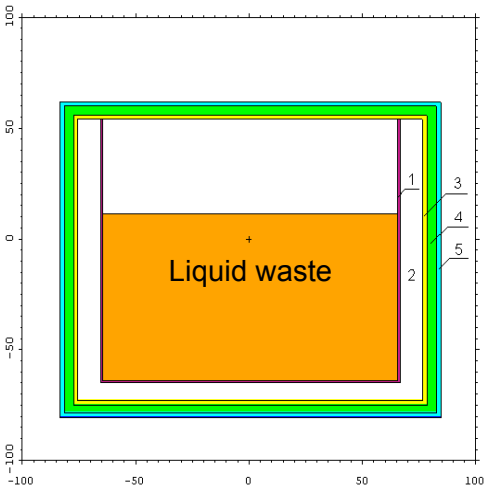


Abb. 6-19: Tank model in MCNPX (material numbers are defined in Tab. 6-7

Methodology

The program MCNPX, a general purpose Monte Carlo radiation transport code (MCNPX User's Manual, 2005 [Pel07]), has been employed for carrying out the calculations. The MCNPX code is used for neutron, photon, electron, or coupled neutron/photon/electron transport calculations. Specific areas of application include radiation protection and dosimetry, radiation shielding, radiography, medical physics, nuclear safety, fusion and fission reactor design, etc.

The structure of the tank as shown in *Abb. 6-18* is rather complex. For the MCNPX calculations a simplified model has been used. The simplified model employed in MCNPX - without details such as the pipelines - is shown in *Abb. 6-19*. The materials of each layer are given in Tab. 6-7.

Using the point/ring detector in MCNPX, the photon flux is obtained. Ambient dose equivalent was calculated by multiplying the flux with flux-to-dose conversion factors (ICRP 74, 1997 [ICRP74]). As the activity of the source is known, the dose rate is obtained by normalizing to the activity employed in MCNPX.

Nr.	Component	Thickness	Material
1	Container	10 mm	DIN 1.4571 (Steel)
2	Air gap	80 mm	Air
3	Outer vessel inside	20 mm	S235 J2G3 or S355 J2G3
4	Lead lining	40 mm	Lead
5	Outer vessel outside	20 mm	DIN 1.4031 (Steel)

Tab. 6-7: Material of each layer of the tank

Calculations

Calculation conditions:

- Release of software: MCNPX Version 2.5.0
- Flux-to-dose Conversion factors: ICRP-74 ambient dose equivalent conversion factors for photons
- Activity of source: 4×10^{11} Bq

- Histories of simulation: 4×10^7

Results: The results of the calculations are shown in Tab. 6-8. With shielding the dose rate at different places fulfill the requirements. The relative errors of all results are below 3 %.

Position	Side surface	2 m from side surface	Top surface	0.5 m over top surface	Bottom surface	0.5 m under bottom surface
Thickness of lead lining	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm	35 mm	35 mm
H*(10) (mSv/h)	8.55×10^{-1} < 2	6.17×10^{-2} < 0.1	1.24 < 2	6.85×10^{-1} < 1	1.32 < 2	8.93×10^{-1} < 1
Relative error (%)	1.11	0.22	2.87	0.33	1.81	0.27

Tab. 6-8: Results of calculations

Abb. 6-20 shows the distribution of dose rate as a function of the horizontal distance from the centre of the tank.

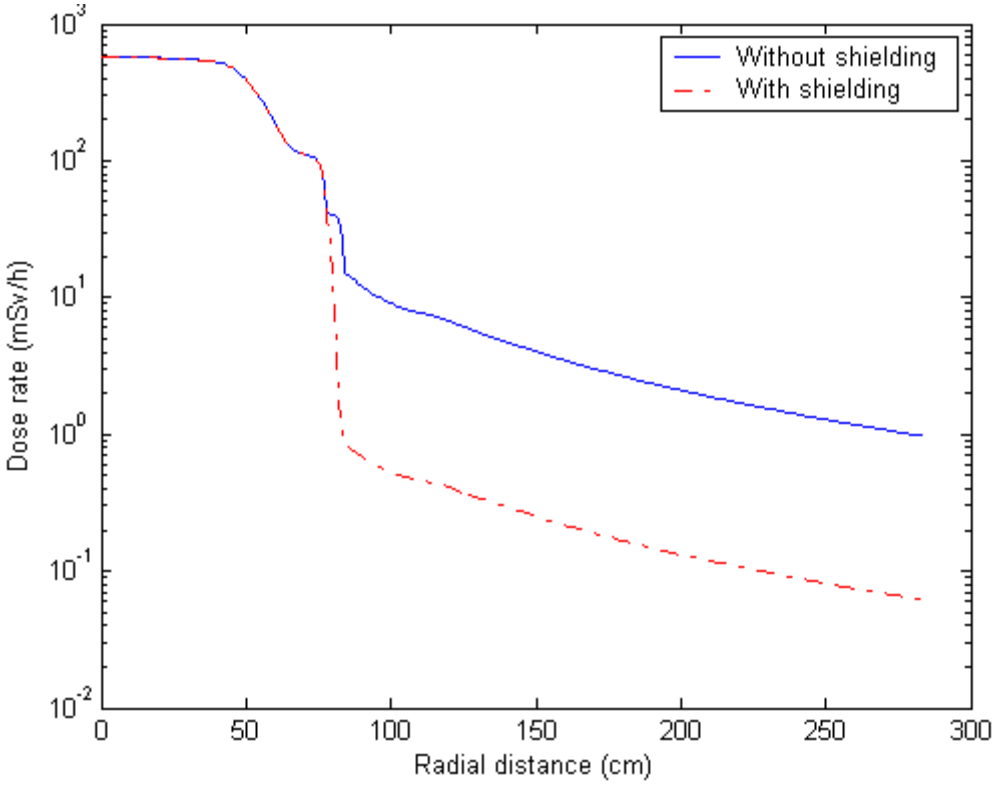


Abb. 6-20: Radial distribution of dose rate with and without shielding. The vertical position is at half height of the top surface of the liquid waste

Conclusion

As shown in Abb. 6-20, the lead shield reduces the dose rate outside the tank by more than an order of magnitude. According to Tab. 6-8 a shielding layer of 40 mm lead fulfills the requirements for the dose rate at the surface of the tank (below or equal 2 mSv/h) and at a distance of 2 m from the surface of the tank (below or equal 0.1 mSv/h). Thus the thickness of the lead lining should be at least 40 mm. The thicknesses for the top and bottom lead lining are 40 mm and

35 mm, respectively. The corresponding dose rates are below 2 mSv/h at the surface and below 1 mSv/h at a distance of 0.5 m from the surface.

6.2.6 Hochdosisbestrahlung in der HDB

F. Becker, F. Blase (HDB)

Die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) sammelt und behandelt radioaktive Reststoffe, die z. B. bei der Anwendung von Radionukliden in der Forschung und beim Abbau von Versuchsreaktoren und von technischen Einrichtungen zur Untersuchung oder Wiederaufbereitung bestrahlter Brennelemente anfallen.

Es gibt Fässer im Dosisleistungsbereich von wenigen µSv bis hinein in den Sievert-Bereich. Von den Fässern wird je nach Inhalt Gamma- und/oder Neutronenstrahlung ausgesendet. Es besteht die Möglichkeit, die Fässer als Bestrahlungsquelle für Proben zu nutzen. Dies wurde im Folgenden realisiert. Ein Fass mit radioaktivem Inhalt wurde auf ein Fass mit leerer Presstrommel gestellt. Auf die Presstrommel wurde eine Bestrahlungsplatte mit Prüflingen bzw. Dosimetern platziert (Abb. 6-21).

Abb. 6-21: Bestrahlungsaufbau mit Fässern. Links: Fass mit radioaktiven Inhalt (weißer Pfeil) auf dem Bestrahlungsfass; rechts: Bestrahlungsplatte mit Detektoren (roter Pfeil) auf der Presstrommel im Bestrahlungsfass

Mit den Dosimetern wurde die Dosisverteilung auf der Platte ausgemessen. Die in Abb. 6-22 dargestellte Dosisverteilung ist auf eine Langzeitbestrahlung von 22 Tagen bezogen. In einem solchen Zeitraum ist mit dem ausgemessenen Fass eine Dosis von mehr als 500 Sv erreichbar.

Diese Bestrahlungsmöglichkeit wurde bislang einmal genutzt, um verschiedene Prüflinge hinsichtlich Strahlungsempfindlichkeit im Hochdosisbereich zu untersuchen.

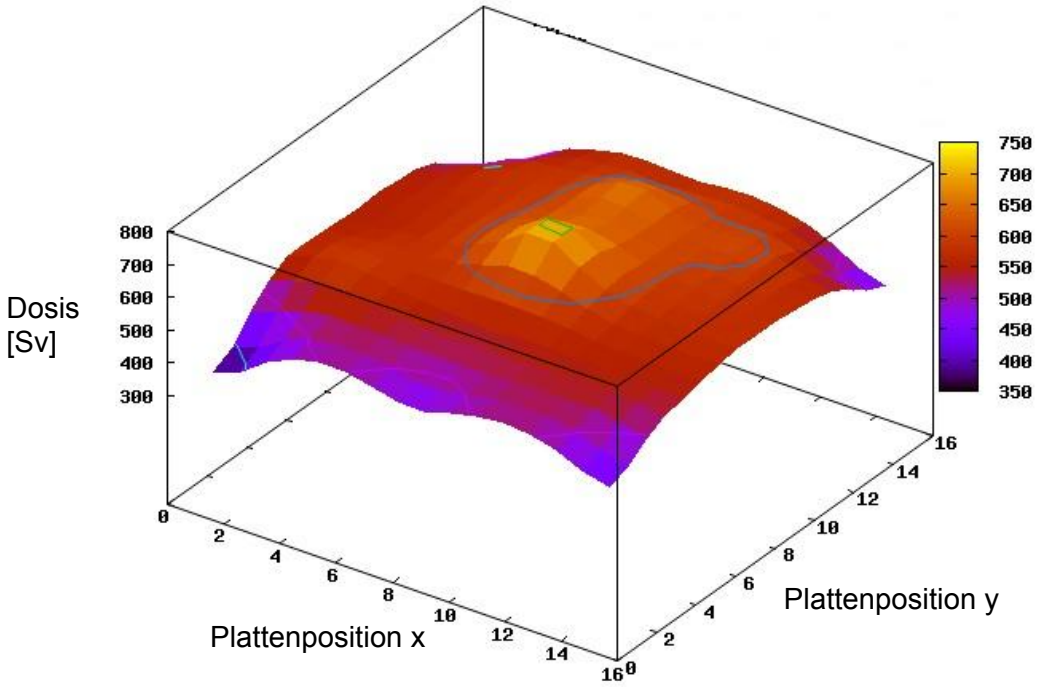


Abb. 6-22: Photonendosisverteilung auf der Bestrahlungsplatte im Fass

6.2.7 McCad: Einsatz eines CAD Interfaceprogramms für Monte Carlo Transportrechnungen

D. Große (INR), F. Becker, G. Zhang, T. Liedtke

Die Monte Carlo (MC) Methode erlaubt es Transportrechnungen in gegebener Geometrie mit beliebiger Genauigkeit durchzuführen. Die Modellierung einer komplexen Geometrie für MC Transportprobleme ist jedoch eine zeitaufwändige und fehleranfällige Aufgabe. In kommerziellen CAD-Systemen lassen sich auch komplexe Geometrien komfortabel modellieren, visualisieren und überarbeiten. Die Idee, in CAD-Systemen erstellte Modelle in MC Transport-Codes zu verwenden, scheint naheliegend. Allerdings unterscheiden sich die zugrundeliegenden mathematischen Beschreibungen solider Objekte in beiden Systemen, was eine Konvertierung notwendig macht.

McCad ist ein automatisches CAD Interfaceprogramm für MC Transport-Codes, welches am Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR) im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt wird und bereits für zahlreiche komplexe Geometrien Anwendung gefunden hat. Erwähnt seien hier nur das 40° ITER Benchmark Modell (siehe Abb. 6-23) und der Castorbehälter (siehe Abb. 6-24).

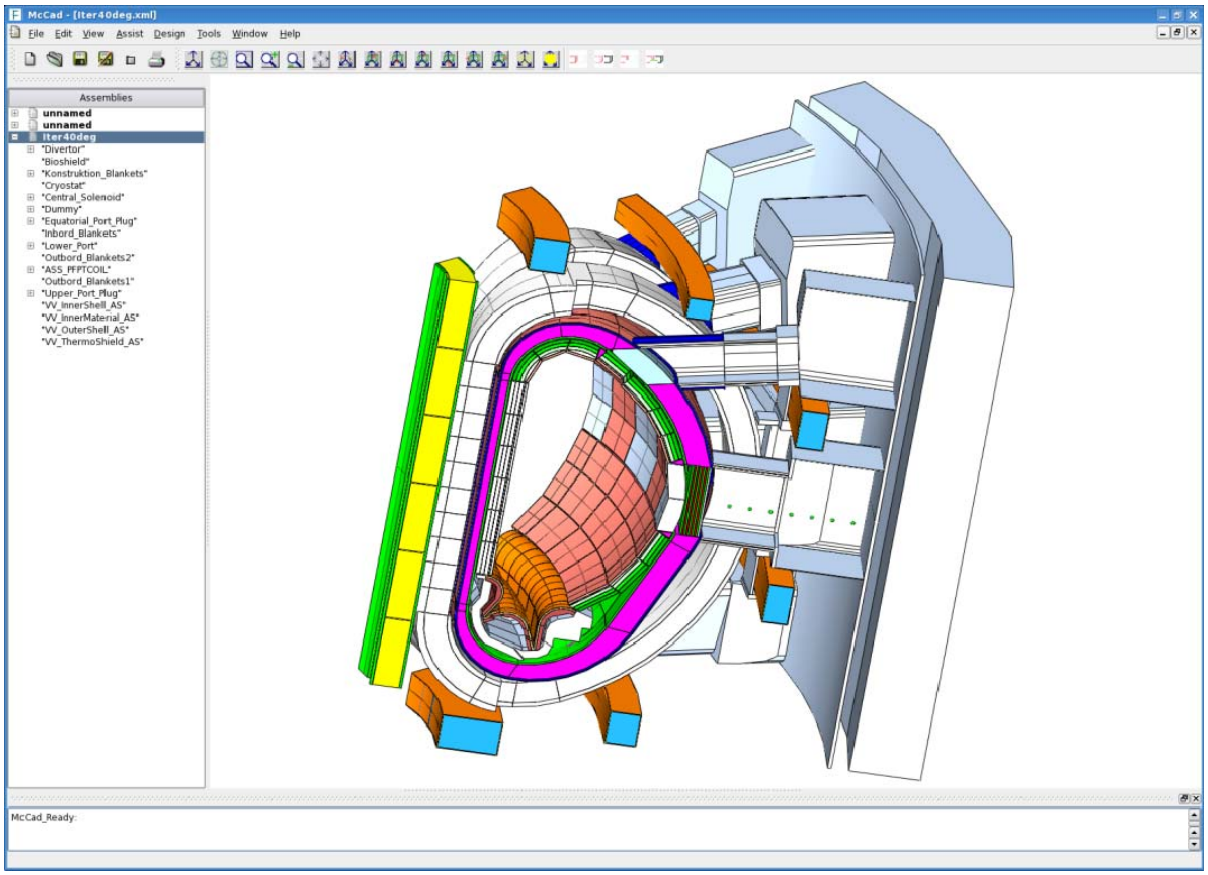


Abb. 6-23: Grafische Benutzeroberfläche von McCad mit dem 40° ITER Benchmark Modell

Derzeit befindet sich McCad noch in einer geschlossenen Betaphase. Es ist jedoch als Open Source Project konzipiert und wird noch 2009 frei erhältlich sein.

MCNP (Monte Carlo N-Particle Transport Code) ist gegenwärtig der einzige MC Code, der von McCad unterstützt wird. Eine Ausdehnung auf den TRIPOLI4 Code erfolgt 2009.

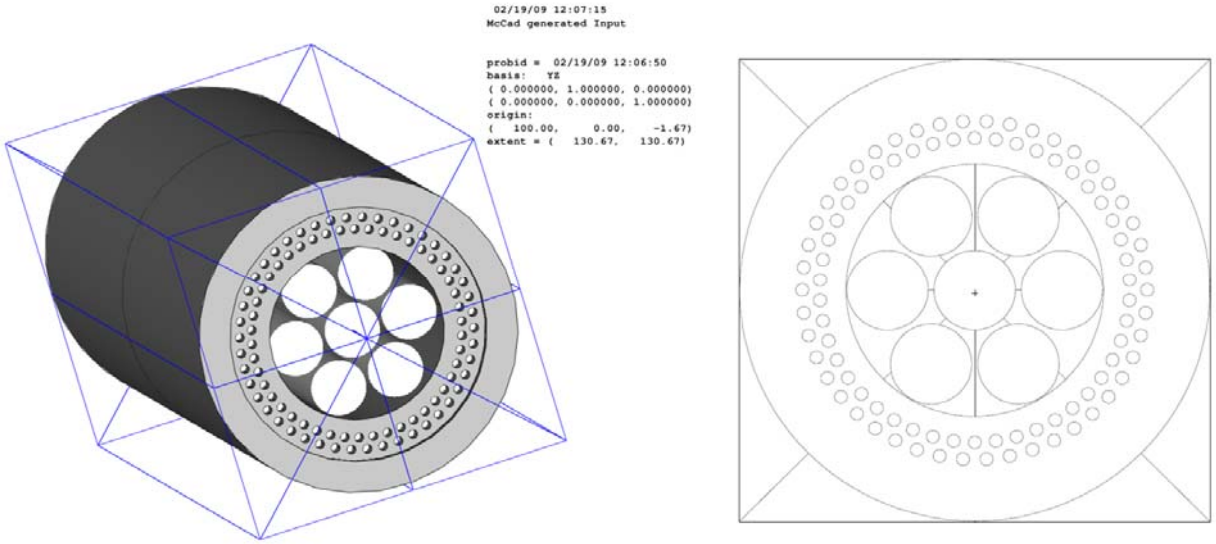


Abb. 6-24: CAD-Modell des Castor-Behälters (links) und Schnitt durch das konvertierte Modell im MCNP-Plotter (rechts)

Für die Hauptabteilung Sicherheit-Kompetenzerhalt Strahlenschutz (HS-KES) wurde am INR eine Konvertierung des Castor-Behälters von CAD- zu MCNP-Geometrie durchgeführt. Abb. 6-24 zeigt zur Linken das CAD-Modell, wie es in der Grafischen Benutzer-oberfläche (GUI) von McCad dargestellt wird (der Deckel wurde ausgeblendet). Die aufgeteilte blaue Box um den Behälter wird zur Definition des leeren Raums im MCNP-Modell benötigt, da in MC-Codes für gewöhnlich der gesamte Raum definiert sein muß, während hingegen es in CAD-Systemen ausreicht nur die materialbehafteten Objekte zu definieren. Auf der rechten Seite ist ein Schnitt durch den konvertierten Behälter im MCNP-Plotter abgebildet.

Die CAD-Files und die konvertierten MCNP-Files wurden bei HS-KES überprüft (Abb. 6-25). Die konvertierten Daten konnten erfolgreich in den bei HS-KES verwendeten MCNPX Code (Version 2.5.0) implementiert werden und das Modell steht nun für komplexe MCNPX Simulationen z.B. zu Zwischenlagern mit Castoren zur Verfügung.

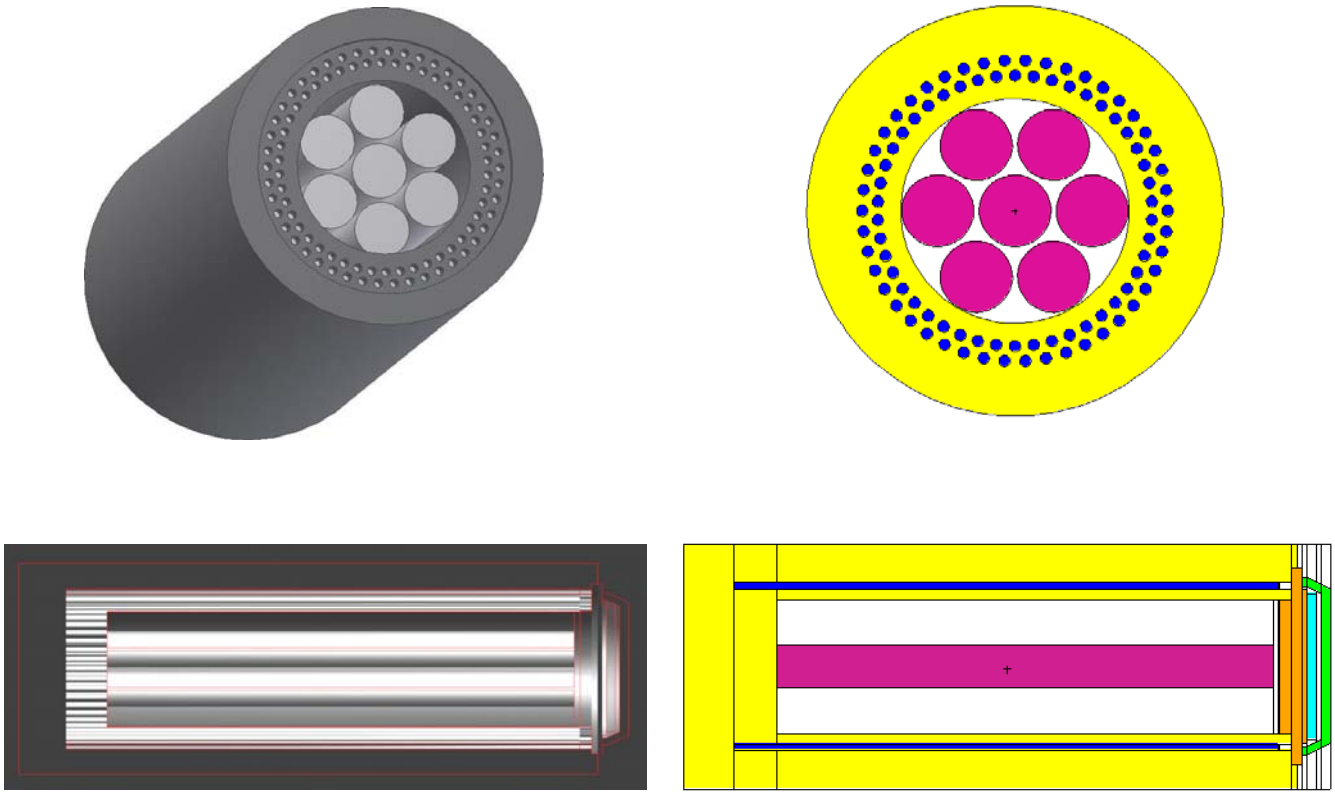


Abb. 6-25: CAD-Bilder des Castor-Behälters (links) und MCNPX-Bilder (rechts)

6.2.8 Rechencluster für Monte-Carlo-Simulationen

H. Gantikow, F. Becker, A. Benzler, S. Prys

Im Sommer 2008 wurden in der Hauptabteilung Sicherheit - Kompetenzerhalt im Strahlenschutz (HS-KES) in Zusammenarbeit mit der Hochschule Furtwangen (H. Gantikow, S. Prys), Untersuchungen angestellt, wie sich die zum Durchführen von Monte-Carlo-Simulationen notwendigen Arbeitsabläufe sowie die genutzte Infrastruktur optimieren lassen.

Für diese Simulationen werden bislang drei exklusiv für diese Aufgabe genutzte Apple Mac Pro Systeme, sowie ergänzend, ein Verbund aus den Arbeitsplatzrechnern des Instituts (ein sogenannter *Cluster*), für verteilte Berechnungen unter Windows, eingesetzt. Gerade die Nutzung des Windows-Clusters gestaltet sich, bedingt durch den primären Einsatz der Einzelsysteme als Arbeitsplatzrechner, als relativ ineffizient.

Hierbei verspricht der Einsatz eines sogenannten *Queueing Systems* (Warteschlangensystems) der Firma Sun (*Sun Grid Engine*, kurz *SGE*), eine Software zum parallelen Rechnen in einem Rechnernetz, eine Verbesserung der Arbeitsabläufe und ermöglicht darüber hinaus ein einheitliches Ansprechen der Rechenkapazitäten bestehend aus Arbeitsplatzrechnern und Mac Pros.

Status Quo

HS-KES setzt für seine Monte-Carlo-Simulationen mit der Software MCNPX (Monte Carlo N-Particle eXtended) zweierlei Arten von Systemen für parallele Berechnungen ein: Mehrere einzelne Mac Pro Workstations für Berechnungen mit geteiltem Speicher (*Shared Memory*), sowie eine Reihe von vernetzten Windows-Arbeitsplatzrechnern (Windows Cluster) für verteiltem Speicher (*Distributed Memory*) Berechnungen.

Mac Pro Nutzung

Als primäre Berechnungshardware werden drei Mac Pro Systeme unter Mac OS X 10.5 genutzt, die acht Recheneinheiten und jeweils 16 GB Arbeitsspeicher zur Verfügung stellen. MCNPX-Berechnungen werden hierbei mit der Shared Memory-Bibliothek namens *OpenMP* lokal auf einem System durchgeführt. Eine Nutzung von mehr als acht Prozessorkernen, die durch ein System zur Verfügung gestellt werden, in einer Rechenaufgabe ist bei dieser Konfiguration nicht möglich.

Ein Vorteil dieses Setups ist, dass die Berechnungen auf einem System praktisch isoliert vom restlichen Netzwerk ausgeführt werden, also eine Netzwerkstörung nicht zum Abbruch der Berechnung führt. Darüber hinaus wirkt sich der Wegfall der Netzwerkkommunikation positiv auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit aus.

Windows Cluster Nutzung

Der Windows-Cluster besteht aus den Arbeitsplatzrechnern des Instituts, die unter Windows XP betrieben werden. Auf Ihnen ist die MCNPX-Software installiert, die für die Monte-Carlo-Simulationen genutzt wird. Für die Kommunikation der verteilten Anwendung wird das Werkzeug *MPICH.NT* verwendet, einer freien Implementierung des sogenannten *Message Passing Interface (MPI)* das in Anwendungen mit verteiltem Speicher eingesetzt wird. Das MPI ist ein Standard für den Nachrichtenaustausch bei parallelen Berechnungen auf verteilten Computersystemen.

Bei den Berechnungsaufgaben (*Jobs*) muss sich der Benutzer selbst kümmern und überprüfen, ob sowohl das System als auch die entsprechenden Ressourcen[1] frei verfügbar sind. Zusätzlich muss die Eingabedatei auf allen an der Berechnung teilnehmenden Rechnern (*Knoten*) händisch verteilt werden. Eine Reservierung von Ressourcen oder das Verhindern konkurrierender Nutzung ist somit nicht möglich.

Konzept unter Einsatz von Sun Grid Engine (SGE)

Diese Problematik kann durch den Einsatz eines Queueing-Systems, wie es bei großen Cluster-Installationen üblich ist, vermieden werden.

---

[1] **Freie Ressourcen für Berechnungen:** Es besteht die Übereinkunft, dass pro Rechner mit zwei CPU-Kernen ein CPU-Kern für Berechnungen genutzt werden darf.

Queuing Systeme werden eingesetzt um Überlastungen zu vermeiden, die entstehen können, wenn mehrere Benutzer gleichzeitig auf identische Ressourcen zugreifen. Darüber hinaus sorgen sie für eine gleichmäßige Auslastung des Gesamtsystems durch Verteilung der Ressourcen entsprechend der Job-Anforderungen (beispielsweise Prozessorzeit, Speicherbedarf, Lizenzen) sicher.

Auf Grund der Voraussetzung der Unterstützung des heterogenen Umfeldes (Mac Pro Systeme unter Mac OS X und Arbeitsplatzrechner unter Windows XP) und dem Wunsch eine kostengünstige Software, für die aber prinzipiell Support bezogen werden kann, fiel die Wahl auf SGE.

Veränderter Arbeitsablauf bei Nutzung des Windows Clusters

Ein Einsatz von SGE im Windows Cluster führt aus Benutzersicht zu einer Reihe von Verbesserungen. So muss er sich unter anderem keine Gedanken mehr machen wo sein Job gestartet werden soll. Er definiert welche Ressourcen, beispielsweise in Form von Prozessoren, er benötigt und schickt den Job ab. Danach entscheidet das Queueing-System auf welchen zur Verfügung stehenden Systemen der Job anlaufen soll. Sind die gewählten Ressourcen frei, wird der Auftrag gestartet und der Benutzer kann nach Beendigung des Jobs, beispielsweise per E-Mail, über die auf ihn wartenden Ergebnisse informiert werden.

Im Vergleich zum bisherigen Konzept muss eine Kontrollinstanz, *Grid Engine Master* genannt, zusätzlich eingeführt werden.

Integration der Mac Pro Systeme

Auch für Mac OS X Systeme existiert die Möglichkeit der Einbindung in die beschriebene SGE-Umgebung. Dies ermöglicht es die Ressourcen der einzelnen Mac Pro Systeme in Form eines großen verteilten Systems zu nutzen[1]. Auch wird durch die Integration eine einheitliche Sicht auf alle zur Verfügung stehenden Berechnungsressourcen des Instituts ermöglicht, die auch mit dem Queueing-System abgefragt werden können.

Ausblick

Integration eines dedizierten Clusters

Eine weitere, weit verbreitete Möglichkeit zur Bereitstellung von Berechnungskapazität ist der Aufbau eines eigenen, dedizierten Clusters zum Durchführen von Berechnungen mit Distributed Memory.

Die Kooperationspartner der Hochschule Furtwangen besitzen Erfahrung mit einem solchen System, bestehend aus vier kostengünstigen Desktop-Rechnern, für Monte-Carlo-Simulationen mit MCNP. Bei diesem System konnte die Laufzeit einer vorgegeben Referenzsimulation von mehreren Tagen auf dem bisher genutzten System auf weniger als eine Nacht reduziert werden. Der Vorteil solcher dedizierter Cluster-Systeme besteht, im Vergleich zum schon beschriebenen Workstation-Cluster auf Windows-Basis, darin, dass sie ausschließlich für Berechungen genutzt werden und somit, im Vergleich zur nicht-exklusiven Nutzung, mit weitaus weniger Betriebsstörungen zu rechnen ist.

[1] **Hinweis:** Hierfür ist die zusätzliche Installation einer MPI-Implementierung nötig, die Berechnungen mit Distributed Memory ermöglicht.

Es ist möglich die Ressourcen eines solchen dedizierten Cluster in SGE zu integrieren. Abb. 6-26 zeigt die Zusammenführung aller besprochenen Berechnungsressourcen (Windows-Cluster, Mac Pro Systeme und dedizierter Cluster) unter einem Grid Engine Master.

Schaffung eines virtuellen Clusters

Ein interessanter Ansatz zur Schaffung von Berechnungsinfrastruktur stellt die Nutzung von Virtualisierungstechnologien dar. So ist es beispielsweise möglich, statt die Arbeitsplatzrechner im Windows-Cluster direkt zur Berechnung zu verwenden, jeweils eine zusätzliche virtuelle Maschine zu installieren, die dann die benötigten Anwendungen bereithält.

Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass auf dem Arbeitsplatzrechner nur ein zusätzliches Programm installiert werden muss, nämlich ein sogenannter *Typ 2 Hypervisor*[1]. Bei direkter Nutzung der Windowsrechner mit SGE müssen mehrere Programme und Dienste installiert werden, was einen relativ hohen Integrationsaufwand bedingt. Dies ist bei der Nutzung einer für die Berechnungsaufgaben vorkonfigurierten virtuellen Maschine, die beispielsweise mit dem freien Betriebssystem Linux betrieben wird, deutlich geringer.

Eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit dieses Szenarios, mit entsprechenden Probesimulationen, steht bislang noch aus.

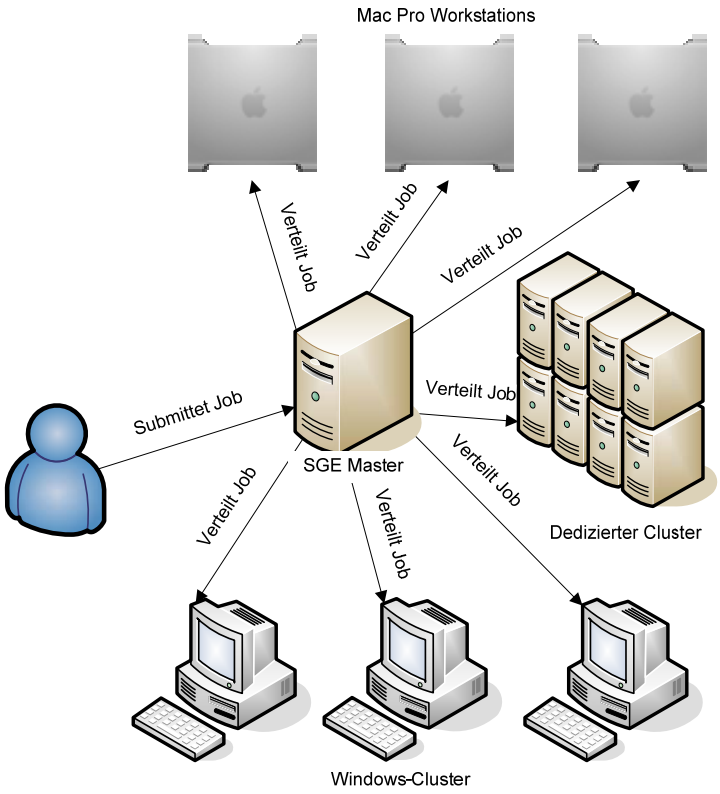


Abb. 6-26: Integration sämtlicher Berechnungsinfrastruktur mit Sun Grid Engine

[1] **Hinweis:** Als Typ 2 Hypervisor kommen beispielsweise die VMware Produkte Player, Server und Workstation, sowie Sun Virtualbox in Frage.

Fazit

Für das 2009 aus HS-KES hervorgegangene Institut für Strahlenforschung kann, in Anbetracht der Vor- und Nachteile jedes individuellen Systems, keine finale Empfehlung gegeben werden. So werden in vergleichbaren Umgebungen bei größeren Anwendungen fast ausschließlich dedizierte Clustersysteme verwendet. Jedoch muss hierbei, zusätzlich zu den bereits vorhandenen Systemen, eine weitere Infrastruktur angeschafft werden, die in Form von Stromverbrauch, Wärmeabgabe und Platzbedarf weitere Kosten verursacht. So bleibt die Möglichkeit, die vorhandenen und als Arbeitsplatzrechner genutzten Systeme praktisch nebenher für Berechnungsaufgaben zu benutzen oder durch Virtualisierung eine zweite unsichtbare Infrastruktur für Berechnungen zu schaffen, auf jeden Fall interessant.

6.2.9 Neutronenfeldkalibrierung in einem Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente

S. Nagels, N. Keiber

Nach § 57a AtG dürfen seit dem 01.07.2005 abgebrannten Brennelemente aus der Bundesrepublik Deutschland nicht wiederaufgearbeitet werden. Dies hat zur Folge, dass abgebrannte Brennelemente, bevor sie in ein Endlager gebracht werden können, zwischengelagert werden müssen. Das Atomgesetz sieht eine dezentrale Zwischenlagerung vor, um Transporte radio-aktiver Abfälle in die bereits bestehenden Zwischenlager zu vermeiden. Aus diesem Grund muss nun jeder Kraftwerksbetreiber auf dem Kraftwerksgelände oder in der Nähe ein Zwischenlager errichten. Nach heutigem Stand werden bereits ungefähr zwei Dutzend CASTOR- Behälter mit Brennelementen aus Druck- und Siedewasserreaktor in diesem Zwischenlager zwischengelagert. Zur Dosisüberwachung werden amtliche Albedodosimeter neben nicht amtlichen, direkt ablesbaren, elektronischen Dosimetern verwendet. Nach DIN 6802-4 „Neutronendosimetrie - Verfahren zur Personendosimetrie mit Albedodosimetern“ (DIN) werden vier Anwendungsbereiche abhängig von ihren typischen Streustrahlungsfeldern unterschieden. Dies bedeutet für das Kraftwerkspersonal neben einem amtlichen Albedodosimeter N1 für den Reaktor ein zweites Dosimeter (Anwendungsbereich N 2) für die Tätigkeiten im Zwischenlager zu tragen. Dies stellt neben dem, langfristig betrachtet, finanziellen Aspekt einen zusätzlichen organisatorischen Aufwand dar und kann unter Umständen zu einer erheblichen Dosisüberschätzung der im Zwischenlager tätigen Personen führen, sollte tatsächlich Anwendungsbereich N 1 gelten. Die DIN 6802-4 erlaubt daher die Durchführung einer Neutronen-Feldkalibrierung zur Bestimmung der Kalibrierfaktoren im interessierenden Strahlenfeld. Kann dadurch bewiesen werden, dass das Streustrahlenfeld eher Anwendungsbereich N 1 entspricht, kann das gleiche Albedodosimeter im Reaktor und im Zwischenlager getragen werden. Aufgrund dieser Gegebenheiten wurde HS-KES externe Dosimetrie mit der Durchführung einer Neutronenfeldkalibrierung beauftragt.

Für die Bestimmung der Neutronenfeldkalibrierfaktoren wurden Albedodosimeter des Typs Alnor eingesetzt. Es setzt sich aus zwei Detektorpaaren die aus je einem Lithium-6-Thermolumineszenzdetekor, kurz TLD, empfindlich gegenüber Neutronen (durch $^{6}LiF(n,\alpha)^{3}H$-Reaktion) und Gammastrahlung- sowie einem Lithium-7-TLD empfindlich gegenüber Gammastrahlung bestehen, zusammen.

In dieser Arbeit wurden als Dosisleitungsmessgerät für die Messung der Photonendosis der Szintomat 6134 A der Firma Automess, als Messgerät für die Neutronendosisleistung die Sonde LB 6411 der Firma Berthold Technologies verwendet.

Da in einigen Kernkraftwerken bereits elektronische Personenneutronendosimeter (vgl. Kapitel 6.2.10) als betriebliche Dosimeter verwendet werden, bot es sich an diese im Rahmen dieser Arbeit mit zu untersuchen. Verwendung fanden hier das EPD N2 der Firma Thermo Scientific sowie das DMC 2000 der Firma MGP Instruments.

Als Phantome wurden zusätzlich zu den für Kalibrierfaktorbestimmung verwendeten PE-Kugelphantomen PE-Quaderphantome mit den Maßen 30 x 30 x 15 cm³ eingesetzt.

Zur Feldkalibrierung wird ein Phantom mit Albedodosimetern an seiner Oberfläche an repräsentativen Arbeitsplätzen exponiert und der Kalibrierfaktor des Albedodosimeters für diesen Ort ermittelt. Als Phantom werden hier nach den Empfehlungen in DIN Polyethylen-Kugeln mit einem Durchmesser von 30 cm verwendet. Zur Ermittlung der Referenz-Neutronen-Äquivalentdosis H_{nRef} wurde das Neutronen-Dosisleitungsmessgerät der Firma Berthold Technologies, Typ LB6411, und die TLD- in der Mitte des Kugelphantoms herangezogen. Nach DIN Gleichung A.13 ergibt sich der relative Kalibrierfaktor N_n für ein Albedodosimeter, bezogen auf die ^{137}Cs-Kalibrierung des Dosimetriesystems, aus dem Referenzwert H_{nRef} und den Albedomesswerten $M_{n1}(i)$ und $M_{n2}(i)$ der jeweils an den diametralen Positionen (vorn + hinten bzw. rechts + links) an der Kugeloberfläche exponierten Albedodosimeter.

$$N_n = H_{nRef} / (M_{n1}(i) + M_{n2}(i)) \qquad \text{Gl. 6-1}$$

Ein Messwert M_n ist die Differenz aus einem Pärchen von Thermolumineszenzdetektoren unterschiedlicher Neutronenempfindlichkeit. Sie sind mit Photonen in der Messgröße $H_P(10)$ kalibriert und werden in der Einheit mSv angegeben. Die Vorgehensweise der Summenbildung gegenüberliegender Dosimeter bei der Feldkalibrierung überbrückt die konzeptionellen Unterschiede zwischen der Anzeige des LB6411 in der richtungsunabhängigen Ortsdosis-Messgröße H*(10) und der Anzeige des Albedodosimeters in der Messgröße Personen-Äquivalentdosis $H_P(10)$, die vom Tragen des Dosimeters an einer repräsentativen Stelle der (Phantom-) Körperoberfläche ausgeht.

Neben dem Albedomesswert $M_n(i)$ steht im Albedodosimeter noch der Feldmesswert $M_n(a)$ zur Verfügung, der durch seine Anordnung in der Albedokapsel bevorzugt die thermischen Neutronen aus dem Strahlungsfeld nachweist. Das Messwertverhältnis k kann zur Korrektion des Albedomesswertes $M_n(i)$ herangezogen werden.

$$k = [M_{n1}(a) + M_{n2}(a)] / [M_{n1}(i) + M_{n2}(i)] \qquad \text{Gl. 6-2}$$

In der Anwendung des Albedodosimeters kann also der unter Feldkalibrierbedingungen mit H*(10) gewonnene Neutronenkalibrierfaktor $N_n(k)$ in Anhängigkeit vom Messwertverhältnis k zur Berechnung von $H_P(10)$ wie folgt herangezogen werden:

$$H_P(10) = N_n(k) \cdot M_{n1}(i) \qquad \text{Gl. 6-3}$$

Bei kleinen Dosiswerten mit einer hohen Messunsicherheit von k wird ein konservativer Wert für N_n angenommen [BUR00].

Zur Ermittlung der späteren Standorte der PE-Kugeln im Zwischenlager und der Expositionszeit der Dosimeter wurden vorab mit einer Neutronensonde LB 6411 und einem Szintomat 6134 A Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt (Abb. 6-27).

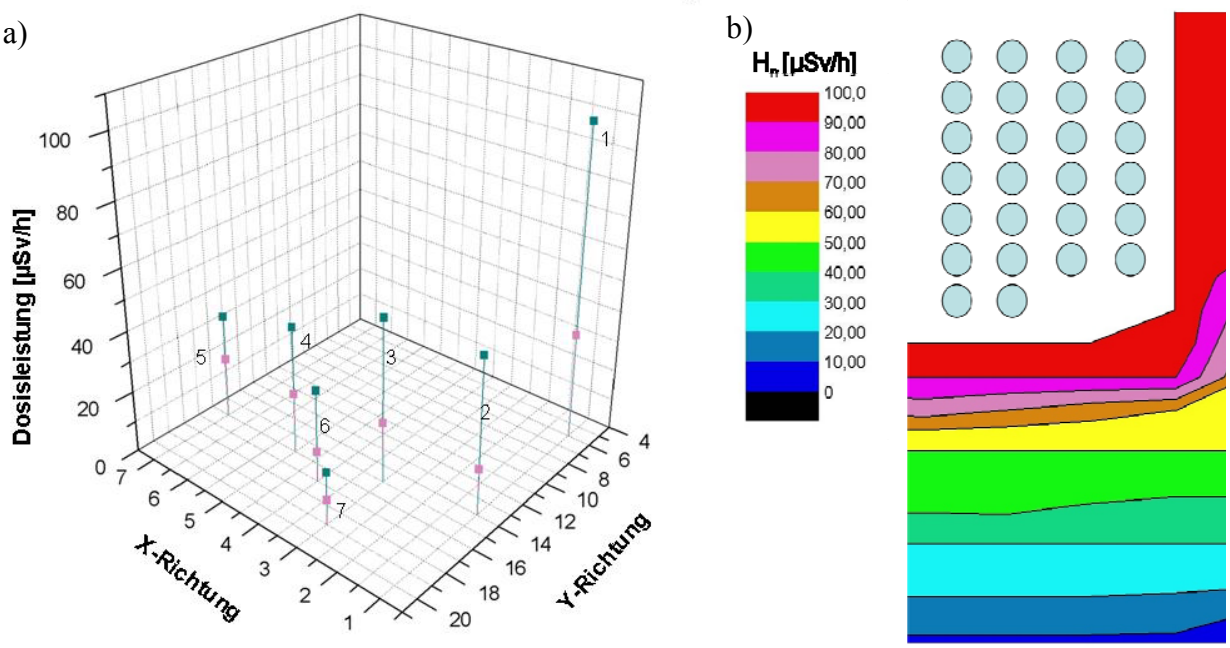


Abb. 6-27: a) Grafische Darstellung der Neutronen- (blau) und Photonendosisleistung (rosa) b) Isodosenverteilung im Zwischenlager extrapoliert aus den DL-Messungen

Zur Bestätigung der für die gewählte Höhe der Kugelphantome von 1,30 m wurden an zwei Orten (MP 1 und 3) im Strahlenfeld Höhenprofilmessungen mit dem LB 6411 ab einer Höhe von 12,5 cm (Mittelpunkt Zählrohr bei Bodenkontakt) durchgeführt (Abb. 6-28).

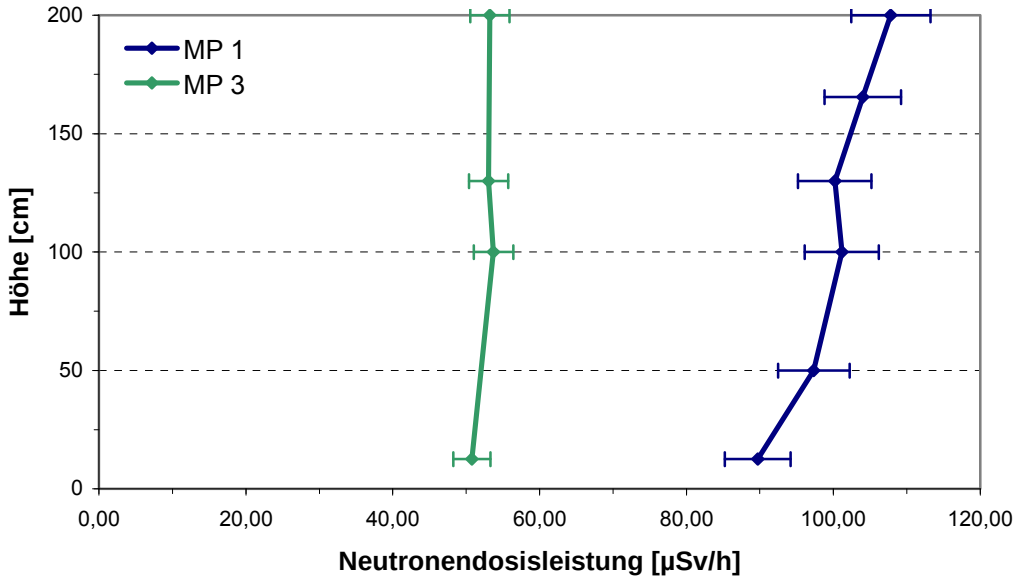


Abb. 6-28: Gemessenes Höhenprofil der Neutronendosisleistung

Um eventuell auftretende Abweichungen im Ansprechvermögen aufgrund unterschiedlicher Anordnung der Dosimeter korrigieren zu können, wurde vor der Messung im Zwischenlager eines der PE-Phantome mit je zwei EPD N2 und DMC 2000 GN Dosimetern bestückt und im Kalibrierlabor von HS-KES mit einer Neutronendosis von 1 mSv bestrahlt.

An ein PE-Phantom wurde jeweils an der Vorder- und Rückseite ein elektronisches Personendosimeter des Typs EPD-N2, des Typs DMC 2000 GN sowie ein Albedo- TLDetektor der amtli-

chen Messstelle (Typ Harshaw) und eine Albedo-TLD (Typ Alnor) von HS-KES Externe Dosimetrie angebracht.

Für die Photonendosis zeigen beide elektronischen Dosimeter eine Abweichung zur Referenz von kleiner 5 %, während das Albedodosimeter der amtlichen Messstelle eine Abweichung bis zu 10 % und das Albedosimeter von HS-KES eine Abweichung bis zu 12 % anzeigt (Abb. 6-29).

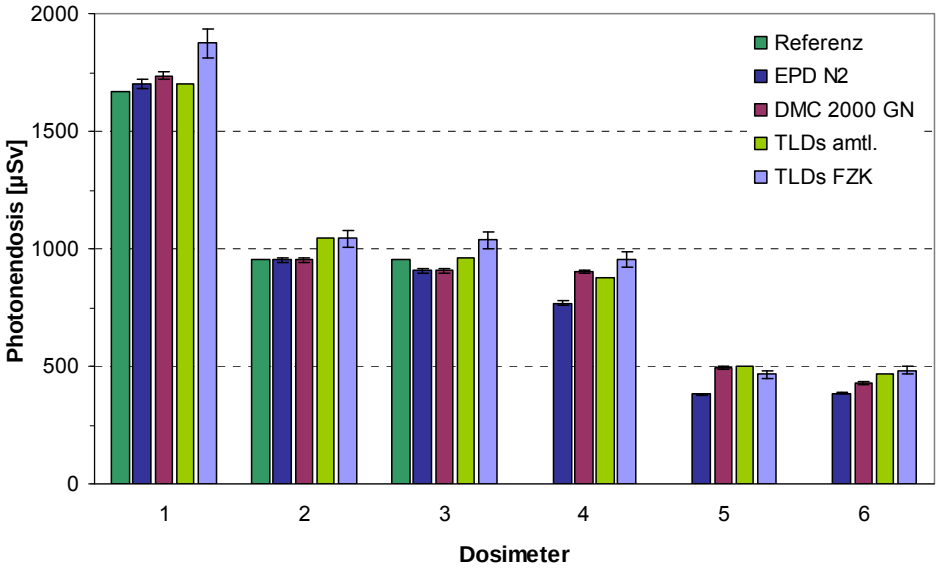


Abb. 6-29: Ergebnis der Bestrahlung mit Photonen am PE-Phantom im Zwischenlager

Die gemessenen Werte der Neutronendosis stimmen beim EPD N2 (Dosis über Impulse ermittelt) für alle drei Werte gut mit der Referenz überein. Die amtlichen Dosimeter unterschätzen die Dosis etwa um den Faktor 0,7. Die Albedodosimeter von HS-KES mit N 1 ausgewertet, unterschätzen die Dosis ebenfalls etwa um den gleichen Faktor (Abb. 6-30).

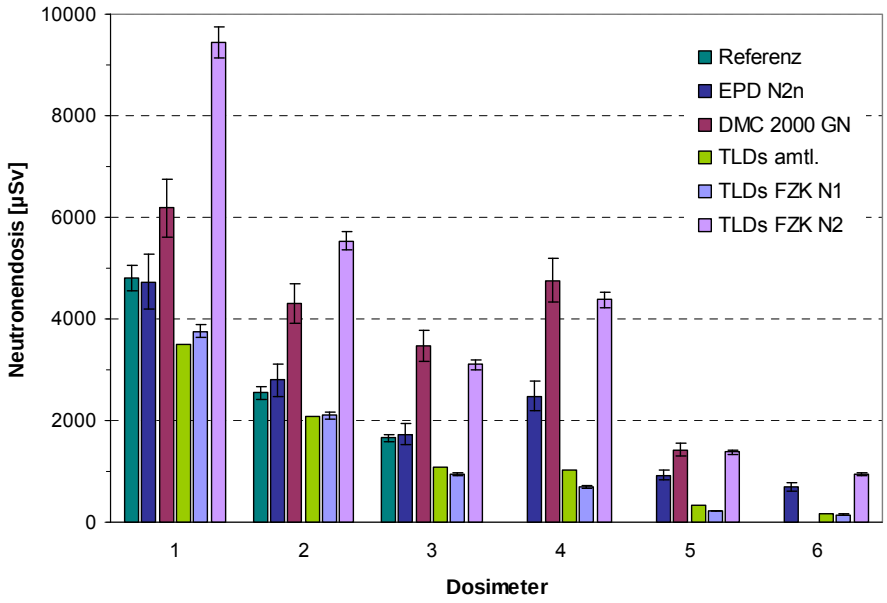


Abb. 6-30: Ergebnis der Bestrahlung mit Neutronen am PE-Phantom im Zwischenlager

Nach dem die Ergebnisse nun vorliegen empfiehlt es sich für das Zwischenlager, in dem die Neutronenfeldkalibrierfaktoren bestimmt wurden, einen eigenen Kalibrierfaktor, der im Bereich von k zwischen 1,05 und 2,5 um ca. Faktor 1,8 größer als N 1 ist, zu verwenden. Da für N 1 eine Abweichung um den Faktor 2 gerade noch zulässig ist (SSK Empfehlung vom 1. März 2002)

(Abb. 6-31) kann aber auch dieser Anwendungsbereich verwendet werden, da gerade in Bereichen hoher Dosisleistung nahe an den CASTOREN die Werte für N_n gut mit der Kalibrierkurve von N 1 korrelieren.

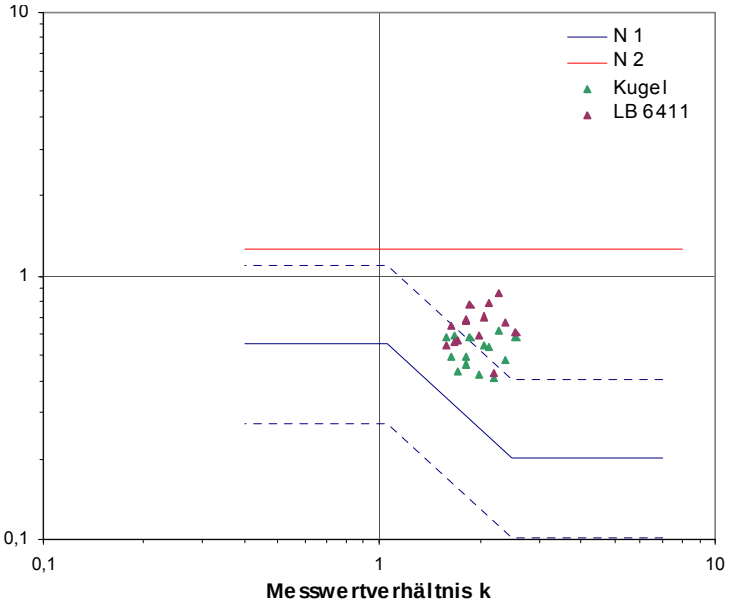


Abb. 6-31: Neutronenkalibrierfaktor aufgetragen über dem Messwertverhältnis für Albedododosimeter am Kugelphantom mit dem Messwert im Kugelinneren (grün) und dem LB6411 (lila) als Referenzneutronenwert.

Je geringer die Dosisleistung und weiter die Entfernung zu den CASTOREN umso eher würde Anwendungsbereich N 2 zutreffen. Da jedoch immer mehr CASTOR-Behälter eingelagert werden und dadurch die Dosisleistung im Zwischenlager immer weiter ansteigt, würde dies mit einer Auswertung nach N 2 zu einer starken Dosisüberschätzung führen.

6.2.10 Planung und Konstruktion einer Kontrollvorrichtung für Wiederkehrende Prüfungen von elektronischen Personendosimetern für Neutronen und Photonen

S. Nagels, N. Keiber

In der Bundesrepublik Deutschland werden bei Tätigkeiten in Kontrollbereichen, im Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung, häufig neben amtlichen Dosimetern auch direkt ablesbare elektronische Alarmdosimeter getragen. Diese sind nicht amtlich und werden vom Anlagenbetreiber verwaltet. In den meisten Fällen handelt es sich hierbei um Dosimeter zur Messung der Photonenstrahlung. Diese unterliegen der Eichordnung und werden in regelmäßigen Abständen überprüft [EO88]. Zur betrieblichen Personendosimetrie werden in einigen Anlagen mit gemischten Neutronen/Photonen-Strahlungsfeldern im Bereich des Kernbrennstoffkreislaufs und in Kernkraftwerken elektronische Neutronenpersonendosimeter eingesetzt. Da eine Eichung der Neutronenanzeige nicht vorgesehen ist, gibt es bisher keine Möglichkeit zur einheitlichen Kontrolle des Neutronen-Messwertes eines elektronischen Neutronenpersonendosimeters. Deshalb wurde im Kalibrierlabor der Hauptabteilung Sicherheit am Forschungszentrum Karlsruhe eine Vorrichtung geplant und konstruiert um wiederkehrende Prüfungen an elektronischen Neutronenpersonendosimetern durchführen zu können.

Ziel einer Wiederkehrenden Prüfung (WKP) ist im Allgemeinen die Funktionsfähigkeit eines Messgeräts zu überprüfen. Die Prüfgrundlage ist hierbei § 67 der Strahlenschutzverordnung [SSV01] und etwaige Auflagen der Genehmigungsbehörde. Bei einer WKP werden Sichtprüfungen, Funktionsprüfungen und Messprüfungen durchgeführt. Eine Einrichtung zur WKP ist ein Hilfsmittel, welches es jeder Zeit ermöglicht, dass ein Prüfling, wenn nicht defekt, in einem

Strahlenfeld ein reproduzierbares Ergebnis liefern kann. Hierbei handelt es sich nicht um eine Kalibriereinrichtung in der Bestrahlungen unter definierten Kalibrierbedingungen, wie möglichst rückstreuarme Räume und die Anordnung an Phantomen, stattfinden, sondern um eine Vorrichtung, die eine einfache und zeitsparende Handhabung ermöglicht, aber gleichzeitig ein reproduzierbares Messergebnis mit möglichst kleiner Messunsicherheit erzeugen kann. Dieses Messergebnis muss nicht dem Messwert einer Absolutkalibrierung entsprechen [BUR08]. Bei einer WKP sollen möglichst viele Dosimeter in kurzer Zeit überprüft werden können. Hierfür wird eine Strahlenquelle mit einer möglichst großen Aktivität/Quellstärke benötigt, da dadurch die Messzeit deutlich verringert werden kann. Eine geeignete Halterung soll die Reproduzierbarkeit des Messwerts durch eine gleichbleibende Geometrie ermöglichen. Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn verschiedene zu prüfende Funktionen gleichzeitig abgearbeitet werden können.

Da die zur Verfügung stehenden Neutronenquellen fast nur schnelle Neutronen emittieren, aber die Dosimeter auch Detektoren zur Messung von thermischen Neutronen besitzen, muss die Bestrahlungseinrichtungen für die WKP so ausgelegt sein, dass auch thermische Neutronen entstehen. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder wird ein Moderator zwischen Quelle und Dosimeter und/oder es wird ein Rückstreukörper hinter dem Dosimeter angebracht. Der prinzipielle Aufbau ist in Abb. 6-32 dargestellt.

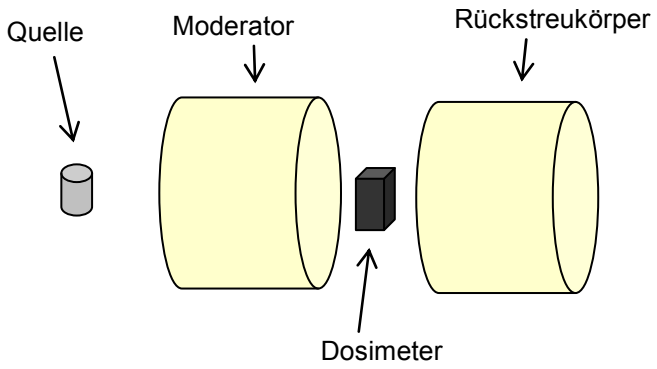


Abb. 6-32: Prinzipielle Anordnung einer WKP-Einrichtung für elektronische Neutronendosimeter

Zur Optimierung wurde das Dosimeter EPD N2, da dieses eine getrennte Auswertung des FN und AN Kanals zulässt, und die Am-Be Quelle, wegen ihrer gleichbleibenden hohen Neutronendosis, herangezogen. Das Dosimeter wurde unter verschiedensten Bedingungen exponiert [KEI08]. Einige Beispiele der durchgeführten Versuche sind in Abb. 6-33 wiedergegeben.

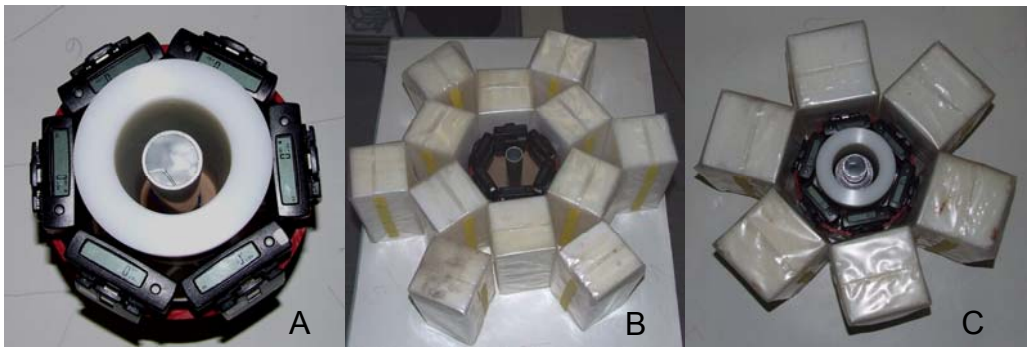


Abb. 6-33: Verschiedene Bestrahlungsbedingungen zur Optimierung der WKP-Einrichtung. A. Mit Moderator. B. mit Rückstreukörper. C. mit Bleiabschirmung, Moderator und Rückstreukörper [KEI08]

Für die Prüfung der Gammadetektoren wird eine rotierende Konstruktion, an der die Dosimeter radial angeordnet sind, in einem Abstand von 2000 mm zur Strahlenquelle (Cs-137) verwendet.

Abb. 6-34: Dosimeter-Halterung für die Photonen-WKP von elektronischen Neutronendosimetern [LIE08]

Die Versuche für die Neutronenbestrahlung brachten folgende Ergebnisse. Das Ansprechvermögen der AN- Impulse steigt an, wenn zusätzlich zu einem Moderator noch ein Rückstreukörper hinter dem Dosimeter befestigt wird. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Dicke eines Rückstreukörpers (ab 70 mm) keinen zusätzlichen Einfluss auf die Zahl der AN-Impulse hat. Durch eine Moderation verschlechtert sich die Zahl der FN-Impulse, dies wird jedoch billigend in Kauf genommen, weil die Anzahl der FN-Impulse größer ist als die der AN-Impulse. Wird die Quelle von einem Bleimantel umgeben, verändert sich das Ansprechvermögen für AN- und FN-Impulse nicht. In Abb. 6-35 ist das Ansprechvermögen in Impulsen für die FN- und AN-Impulse verschiedener Bestrahlungsgeometrien gezeigt.

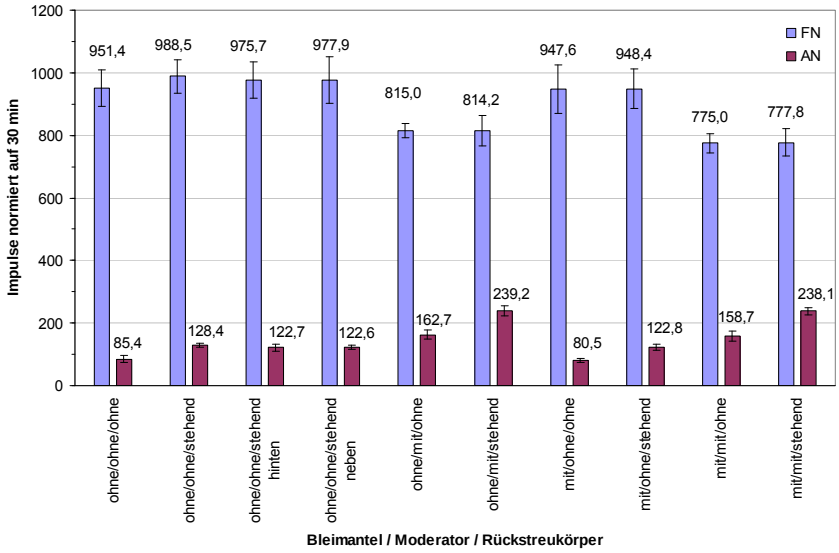


Abb. 6-35: Neutronenmesswerte der Bestrahlung von sechs EPD N2 Dosimetern unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen [KEI08]

Für die Prüfung der Neutronendetektoren wurde eine Einrichtung mit einem Moderator und einem Rückstreukörper an einer Am-Be-Quelle auf der Grundlage von Voruntersuchungen konstruiert [UGI08]. Die messtechnischen Eigenschaften konnten an einem Prototyp getestet werden. Damit mehrere Dosimeter gleichzeitig geprüft werden können, werden sie an einer runden Halterung, rotations-symmetrisch um die Quelle, befestigt und zwischen Moderator und Rückstreukörper positioniert. Die Gammadosis durch die Neutronenquelle wird durch eine Bleihülle um die Quelle reduziert. Damit die Gamma- und Neutronen-WKPs zeitgleich durchgeführt werden können, wird die Photonen-WKP räumlich getrennt im Bunker und die Neutronenbestrahlung in der Holzhalle (beides im Kalibrierlabor der HS) durchgeführt. Die Neutronen-WKP wird aus Strahlenschutzgründen über einem großen Abschirmbehälter für die Am-Be-Quelle positio-

niert. Die geschätzte Dauer einer wiederkehrenden Prüfung für Neutronen und Photonen beträgt für sechs Dosimeter des gleichen Typs etwa 30 Minuten. Eine vorläufige Prüfvorschrift wurde erstellt [KEI08] Das CAD-Modell und eine Explosionszeichnung der Einrichtung ist in Abb. 6-36 abgebildet.

Abb. 6-36: links: CAD-Modell der Neutronen-WKP-Einrichtung mit Abschirmbehälter, rechts: Explosionszeichnung der WKP-Einrichtung [LIE08]

6.3 Anwendung von Routineverfahren zur Bestimmung der äußeren Strahlenexposition

6.3.1 TLD Verfahren

6.3.1.1 Umgebungsdosimetrie und spezielle Anwendungen

T. Tecle, S. Nagels

Bei HS-KES, Gruppe externe Dosimetrie werden für die Umgebungsdosimetrie zwei Verfahren angeboten. Zum Nachweis der Photonenumgebungsäquivalentdosis werden Thermolumineszenzdosimeter bestehend aus TLD-700-Detektoren in einer Plexiglaskugel mit einem Durchmesser von 37 mm angeboten. Im Jahr 2008 wurden von diesen Dosimetern 2096 Stück ausgegeben.

Die Umstellung für die Photonenumgebungsdosimetrie auf die H*(10)-Gamma-Kugel ist für alle Kunden abgeschlossen.

Zum Nachweis der Neutronenäquivalentdosis werden passive Neutronen-Äquivalentdosismesser, bestehend aus einer Polyäthylenkugel von 30 cm Durchmesser mit einem thermischen Neutronendetektor im Zentrum angeboten. Als Detektoren werden TLD-600 / TLD-700 - Detektorpärchen verwendet. Dieses Detektorsystem wurde 91 mal im Jahr 2008 ausgegeben.

Im Jahr 2008 wurden weiterhin 477 Thermolumineszenzdetektoren für spezielle Anwendungen, z. B. Messungen in Phantomen in der Medizin oder Hochdosismessungen an Beschleunigeranlagen ausgegeben.

6.3.1.2 Nichtamtliche Personen- und Teilkörperdosimetrie

M. Schaller, S. Nagels

Für die nichtamtliche Teilkörperdosimetrie der lokalen Hautdosis der Hände bietet HS-KES externe Dosimetrie drei Fingerringdosimeter aus Edelstahl mit Thermolumineszenzdetektoren an: für Röntgen- und Gammastrahlungsfelder den Typ PHOTONEN, für Mischstrahlungsfelder mit Betastrahlung die Typen BETA-200 und BETA-50. Die Zahl 200 und 50 bezieht sich auf die jeweilige untere Grenze der mittleren Betaenergie, die mit dem Fingerringdosimeter noch nachgewiesen werden kann.

Alle drei Fingerringdosimetertypen sind bauartgleich der Fingerringdosimeter die im August 2001 die Bauartzulassung für den Photonennachweis in der neuen Messgröße Oberflächen-Äquivalentdosis $H_P(0,07)$ unter Federführung der ehemaligen Karlsruher Messstelle erhielten. Im Jahre 2003 wurde der Photonenenergiebereich des Typs BETA-50 bis zu 7 keV erweitert. Im Jahr 2008 wurden von HS-KES zum einen FZK intern Betaringe ausgegeben, zum anderen 180 Stück für externe Kunden. Des Weiteren wurden für interne und externe Kunden 803 Photonen-fingerringe zur Verfügung gestellt.

HS-KES hat in diesem Jahr freiwillig an der Vergleichsbestrahlung der PTB für $H_P(0,07)$-Dosimeter erfolgreich teilgenommen, die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zu sehen.

Nr.	**Quelle**	**H(DST) mSv**	**H(PTB) mSv**	**Winkel ° Grad**	**H(DST)/ H(PTB)**
B0200	Sr-90 B150	81,3	100 20,0	60	0,68
B0201	Kr-85 B250	356	50,0 350	0	0,89
B0202	Kr-85 C80	87,0	40,0 50,0	0	0,97
B0204	B250	93,2	100	45	0,93
B0205	C80	261	300	0	0,87
B0206	B150	0,804	1,00	0	0,80
B0209	Kr-85 B150	12,2	10,0 10,0	45	0,61
B0210	Kr-85 C80	3,98	2,26 2,25	0	0,88
B0211	A200	11,4	12,0	60	0,95
B0213	Kr-85	3,86	6,00	60	0,64
B0214	Kr-85	82,2	100	0	0,82
B0215	Kr-85	2,90	4,01	0	0,72
B0217	Sr-90	150	120	0	1,25
B0218	B150	67,9	80,0	0	0,85

H(DST) und H(PTB): $H_p(0,07)$, Mittelwert beträgt 0,848

Tab. 6-9: Ergebnisse für Beta-200 Fingerringdosimeter bei der PTB-Vergleichsbestrahlung 2008

Als weiteres nichtamtliches Dosimeter wird ein am Forschungszentrum Karlsruhe entwickeltes universelles Albedoneutronendosimeter eingesetzt. Das Neutronendosimeter mit TLD-600 (^{6}LiF:Mg,Ti)-und TLD-700 (^{7}LiF:Mg,Ti)-Thermolumineszenzdetektoren dient zur Personen-überwachung in Neutronen-Gamma-Mischstrahlungsfeldern. Für spezielle Überwachungsaufga-ben können die Albedodosimeter zusätzlich mit Kernspurätzdetektoren zum getrennten Nach-weis schneller Neutronen eingesetzt werden. 2008 wurden von HS-KES Albedodosimeter im

Rahmen einer Diplomarbeit zur Bestimmung von Neutronenfeldkalibrierfaktoren (siehe Kap. 6.2.9) ausgegeben.

HS-KES hat im Jahr 2008 freiwillig an der Vergleichsbestrahlung für Albedodosimeter teilgenommen, das Ergebnis ist in Tab. 6-10 zu sehen.

Nr.	**H(DST) mSv**	**H(PTB) mSv**	**Winkel ° Grad**	**H(DST)/ H(PTB)**
6017	6,457	5,500	0	1,174
7033	6,603	5,500	0	1,200
7044	6,955	5,500	0	1,265
7102	6,604	5,500	0	1,201
6138	0,214	0,180	0	1,188
6144	0,223	0,180	0	1,236
7027	0,240	0,180	0	1,331
7130	0,219	0,180	0	1,218
7048	0,659	0,800	60	0,824
7085	0,672	0,800	60	0,839
7128	0,745	0,800	60	0,932
7142	0,792	0,800	60	0,990
7098	0,437	0,325	Isotrop	1,346
7101	0,448	0,325	Isotrop	1,378
7129	0,449	0,325	Isotrop	1,383
7138	0,455	0,325	Isotrop	1,400
5545	1,356	1,150	Isotrop	1,179
5899	1,548	1,150	Isotrop	1,346
6016	1,336	1,150	Isotrop	1,162
7031	1,584	1,150	Isotrop	1,377
7032	0,403	0,260	15	1,550
7036	0,370	0,260	15	1,421
7039	0,409	0,260	15	1,574
7045	0,528	0,260	15	2,031
7049	0,386	0,420	45	0,920
7109	0,399	0,420	45	0,949

Nr.	H(DST) mSv	H(PTB) mSv	Winkel ° Grad	H(DST)/ H(PTB)
7131	0,598	0,420	45	1,423
7137	0,499	0,420	45	1,188
7038	1,205	0,900	0	1,339
7043	1,411	0,900	0	1,567
7097	1,227	0,900	0	1,364
7139	1,312	0,900	0	1,457
6015	23,566	20,000	0	1,178
6018	23,880	20,000	0	1,194
6128	21,864	20,000	0	1,093
7034	24,761	20,000	0	1,238

Tab. 6-10: Ergebnisse für Albedodosimeter bei der PTB-Vergleichsbestrahlung 2008

6.4 Dosimetrie nach Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper

B. Breustedt

Bei Dosisabschätzungen nach der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inkorporation) muss die Verteilung der Quelle und ihres Strahlenfeldes im Körper berücksichtigt werden. Zunächst muss das aufgenommene Radionuklid entweder direkt im Körper, oder nach seiner Ausscheidung aus dem Körper mit möglichst guten Nachweisgrenzen bestimmt werden. Das In-vivo Messlabor der HS betreibt dazu einen Ganzkörperzähler und mehrere Teilkörperzähler (vgl. Kap. 5.12). Alternativ zur Direktmessung im Körper können Urin- und Stuhlproben analysiert werden (z.B. in der toxikologischen Abteilung der Medizin im Forschungszentrum). Zur Bestimmung der Verteilung der aufgenommenen Nuklide im Körper müssen geeignete biokinetische Modelle (vgl. Kap. 6.4.2) eingesetzt werden. Mit Hilfe dieser Modell kann aus den Messwerten die insgesamt aufgenommene Menge (Zufuhr, „Intake“) bestimmt werden. Aus den Zerfallseigenschaften des Nuklids und seiner Verteilung (dosimetrisches Modell) kann die aus der Zufuhr resultierende Dosis bestimmt werden (vgl. Abb. 6-37).

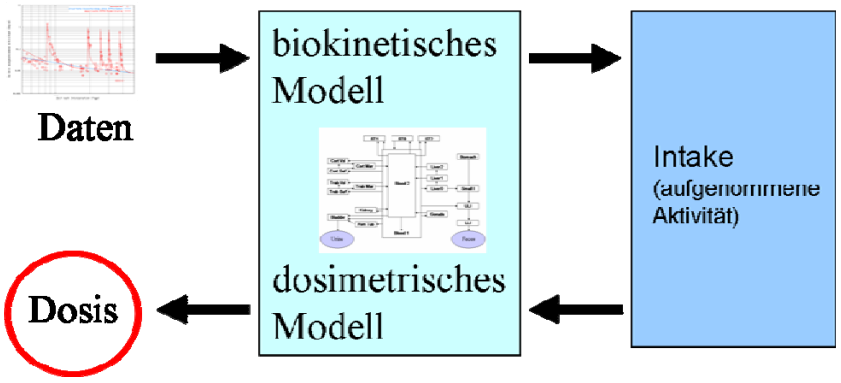


Abb. 6-37: Ablauf der Dosisbestimmung nach Inkorporation von Radionukliden

6.4.1 Direkter Nachweis radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper

B. Breustedt

Der direkte Nachweis geringster Mengen radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper ist nur möglich für Nuklide, die Gammaquanten ausreichend hoher Energie (d.h. $E\gamma > 30keV$) mit ausreichend hoher Emissionswahrscheinlichkeit emittieren. Eine gute Abschirmung des Messplatzes gegenüber dem natürlichen Strahlenfeld ist dabei unumgänglich. Die Messungen im In-vivo Messlabor werden daher in zwei begehbaren Abschirmkammern aus (15 cm dickem) Stahl durchgeführt. Zum Einsatz kommen NaI(Tl)-Detektoren, NaI(Tl)-CsI(Tl)-Phoswichdetektoren und Reinstgermaniumdetektoren. Um aus den aufgenommenen Gammaspektren die Aktivität im Körper zu bestimmen muss eine Wirkungsgradkalibrierung vorliegen. Die Veränderung des Strahlenfeldes durch Wechselwirkungen (z. B. Streuung) im Körper muss dabei geeignet berücksichtigt werden. Die Wirkungsgradbestimmung kann z. B. durch Messung mit anthropomorphen Phantomen, die den menschlichen Körper repräsentieren erfolgen. Alternativ können die Wirkungsgrade durch Simulationen mit der Monte-Carlo Methode bestimmt werden. Im Rahmen von Forschungsprojekten wird in der HS dazu die Programme der MCNP-Familie [Pel05] eingesetzt. Dabei kommen numerische Modelle der Detektoren und der physikalischen Phantome sowie Voxelphantome, die eine realistischere Repräsentation des menschlichen Körpers liefern, zum Einsatz. Durch eine realistischere Repräsentation der Messituation während der Kalibrierung können systematische Fehler minimiert und die Genauigkeit der Messwerte erhöht werden. Neue Detektorentwicklungen, die in der HS auf ihre Eignung hin untersucht werden, ermöglichen durch höhere Detektionseffizienz ebenfalls eine Verbesserung des in-vivo Nachweises radioaktiver Stoffe.

6.4.1.1 Intercomparison exercise 2008: comparison of results obtained in a whole body counter with either four NaI detectors or two HPGe detectors

O. Marzocchi, U. Mohr, B. Breustedt

The Intercomparison exercise is a yearly test of the capabilities of different whole body counter facilities spread around Germany. The exercise is required in order to comply with german regulations and the DIN EN ISO/IEC 17025:2005 rules.

The tests consists in the measurement of a brick phantom loaded with an unknown amount of radioactivity. The size of the phantom is unknown until the day of the measurement and can range from 70 to 120 kg equivalent (standard sizes P4, P5 or P6). Every facility must be able to give an estimation of the activity contained in the phantom in real time, or within some minutes from the measurement, just as it was a routine measurement of a real subject.

Setup

The exercise was performed at IVM on 10^{th} of November 2008 and two phantoms (P4 and P5) were used, each one in a standard and in a modified configuration. The standard configuration is supposed to be loaded uniformly, while the modified configuration has some additional rods placed on the thorax, between some scattering media. Abb. 6-38 shows the phantom P5 (equivalent to a 90 kg male subject) with the standard detectors around it. Two bricks in the upper thorax are slightly lifted due to the additional radioactive rods inserted in between.

Abb. 6-38: P5 phantom in modified configuration with only the NaI(Tl) detectors

The standard detectors used for these measurements are four NaI(Tl) scintillators, arranged around the subject in a configuration optimised for whole body counting applications. This year, for the second year, the measurement was performed also with the aid of germanium detectors, in order to test their capabilities and improve the detection of nuclides with closely spaced energy lines. The detectors used are a two high purity germanium detectors, with a relative efficiency of over 80% and a resolution of 0.9-2.5 keV over the energy range 20-2000 keV. The detectors were not yet mounted in the room in the final configuration, since that would require the removal of the previous system. One Germanium was therefore placed below the supporting bed, aligned vertically with the lower part of the torso, while the second detector was placed on a movable cart and aligned on the side of the phantom, at the height of the thorax. Abb. 6-39 displays its position.

Abb. 6-39: Placement of the second germanium detector

Since the cart, together with the detector, was found to increase the scattering in the room, it had to be removed during the measurements performed with the old detectors. As result, each detector was measured for 5 minutes with the traditional system and with only one germanium detec-

tor installed, then the cart was positioned and a second measurement with of the same phantom was performed. The cart was aligned with a precision of few centimetres.

The calibration of the new detectors was performed only computationally, by performing different simulations with MCNPX and a model of the room, containing each one of the phantoms tested and the new detectors. The position of the detectors and of the phantom in the virtual model were set up with the same values measured in the room before each measurement. The efficiencies were estimated from the results of the simulations and then imported into the software Genie-2K from Canberra. The calculation of the activity from the final spectra was performed with the same software.

Results

A summary of the results of the measurements of phantom P4 is listed in Tab. 6-11. The measurements of the standard and of the modified phantoms were averaged, since the only difference between the two configurations is the addition, in the latter, of rods containing Americium-241.

	Det. below	**Det. on the side**	**NaI(Tl)**	**Official value**
	Bq	**Bq**	**Bq**	**Bq**
Am-241		58098 ± 1496		18021± 901
Ba-133	2185± 163	1810 ± 116	2866± 101	2736± 137
Cs-137	4160± 191	4083 ± 176	4354± 92	4432± 222
Co-60	1199± 79	946 ± 62	1370± 39	1338± 77
K-40	3227± 569	2051 ± 460	2287± 394	2807± 140

Tab. 6-11: Average activities calculated for the phantom P4

To ease the comparison, a graph is also provided Abb. 6-40.

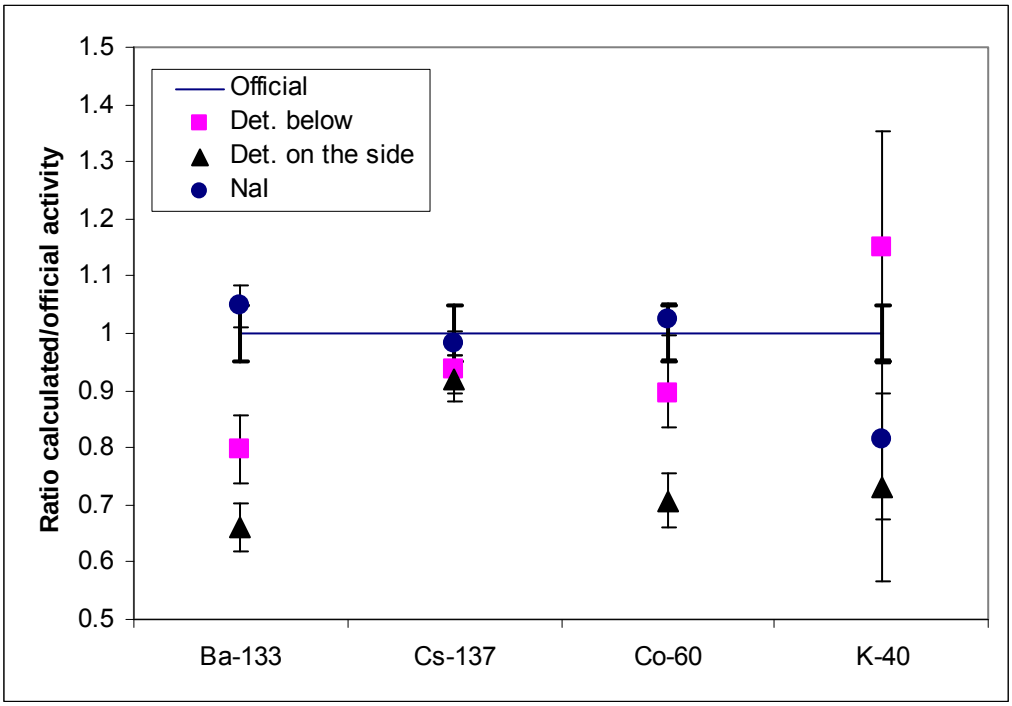


Abb. 6-40: Comparison of relative activities calculated for phantom P4 and for different radionuclides

The results show a substantial agreement between the official values, the activities calculated by the old system and the activities calculated by the germanium detector placed below the bed (the one whose position was best known). The old system was not able to detect Americium-241 due to the poor energy resolution of the scintillators but has clearly a better efficiency calibration than the germanium detectors.

The results of the detector on the side of the phantom are worse, since the errors are always higher than 25%, except for Cesium-137. An error in the positioning of the detector or in the angle between detector and phantom is a possible source of the discrepancies, but such a problem would cause an error that decreases with the energy of the nuclide, being high energy photons less influenced by air and by the case of the detector. The data show however the opposite effect, with a good agreement for Cesium-137 and worse agreement for higher energy photons.

The results of the measurements of the P5 phantom show again similar results: the agreement between official data, estimates from the traditional system and estimates from the detector below the phantom are good, while the detector on the side is not able to estimate correctly the activity of the phantom. The problem concerning the detector on the side must therefore be the sum of different issues: errors in the positioning of the detector, as already stated; wrong calculation of the area of the peaks in the simulations; wrong MCNPX model of the detector (the one used was optimised for a slightly different crystal). Further tests with better setups and better MCNPX models are therefore required. The optimisation of the placement of the detectors would also help in producing more reliable data.

As for the phantom P4, however, the detector on the side is already effective in determining the presence of Americium-241: the estimated activity is 3.2x the official value, therefore an average of the data of the two germanium detector would bring the final result to 1.6x the official value. Given the not optimised placement of the detectors and the scarce knowledge of the shape and of the properties of the source, such value is already an acceptable result.

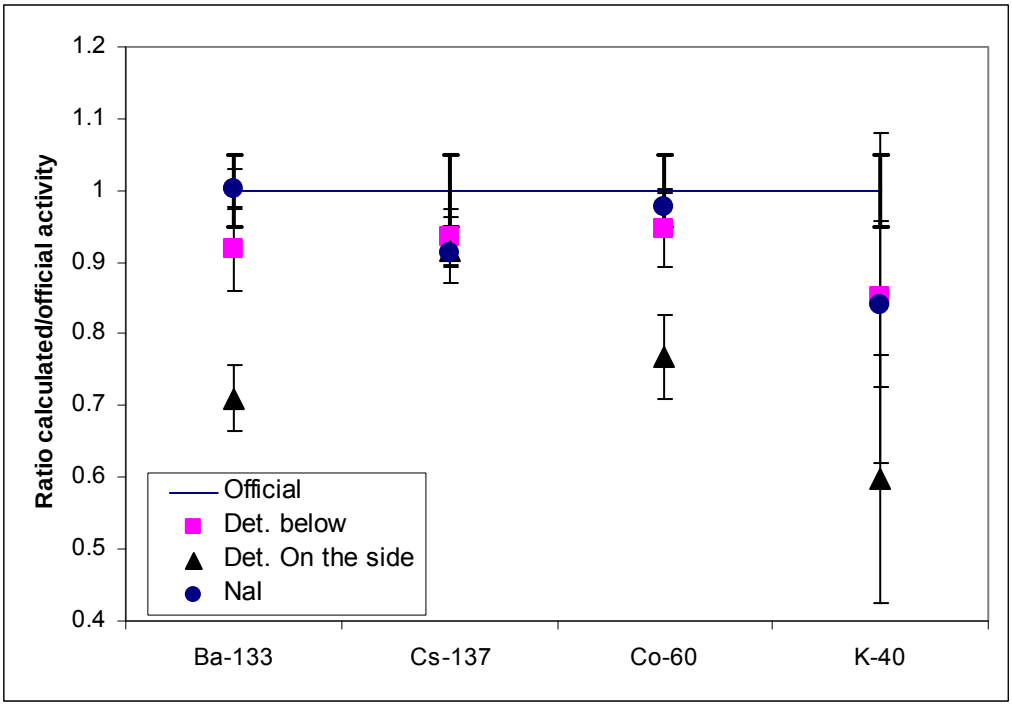


Abb. 6-41: Comparison of the results of the measurements of phantom P5 and P5 modified (average) for different radionuclides

6.4.1.2 Erstellung von (Teilkörper-) Voxelmodellen des Menschen für computergestützte dosimetrische Simulationen

Jutta Schimmelpfeng und Lars Hegenbart

Für unterschiedliche Fragestellungen im Strahlenschutz und zur Berechnung von Strahlendosen werden Teilkörper Voxelmodelle des Menschen benötigt. Diese können aus vorhandenen Ganzkörper Voxelmodellen separiert werden oder sie können individuell aus digitalen, medizinischen Aufnahmen (CT- und MRT-Aufnahmen) einzelner Personen erstellt werden. Bei diesem Vorgang kommt der Segmentierung der 3D-Datensätze dieser medizinischen Schichtbilder eine besondere Bedeutung zu. Erst durch diesen Schritt können verschiedene Körpergewebe und -organe identifiziert und benannt werden. Zusammen mit einem auf diesem Gebiet kompetenten Partner in der Universität Karlsruhe, dem Institut für Biomedizinische Technik, erstellen wir Teilkörper-Voxelmodelle des Menschen, die individuell bei dosimetrischen Berechnungen eingesetzt werden können

Der MEET-Man Datensatz und seine Verwendung bei HS-KES

Der Visible Man Datensatz wurde am IBT segmentiert und klassifiziert und ist eine der wenigen Quellen für hochdetaillierte geometrische Modelle des Menschen. Ein geometrisches Voxelmodell (siehe Abb. 6-42) besteht aus Volumenquadern, die mit Voxeln gefüllt sind. Der Visible Man Datensatz besitzt eine räumliche Auflösung von je 1 mm in x-, y-, z-Achse. Das daraus erstellte MEET-Man Voxelmodell gibt es in 6 verschiedenen Auflösungen von 1 bis 6 mm. In der 1 mm Auflösung entsprich der Datensatz in der x-, y-, z-Achse 594 x 341 x 1873 Voxel mit 379.383.642 Bytes.

Die verschiedenen Schichtaufnahmen wurden durch Fehlerkorrektur (z. B. Geometrie und Farbe) und Interpolation fehlender oder unbrauchbarer Schichten (Image Warping) aufbereitet. Hierbei wurde jedem dreidimensionalen Bildelement eine von 28 Gewebe- bzw. Organkennzahlen zugeordnet [2-4]. Dieser erweiterte MEET-Man Datensatz besitzt eine Vielzahl verschiedener Gewebeklassen wie z. B. Knochen, Muskulatur, Lunge, Leber. Er wird bei HS-KES für Simulationen im Strahlenschutz eingesetzt, z. B. für dosimetrische Berechnungen von physikalischen Prozessen im Körper und für numerische Berechnungen des Detektor-Wirkungsgrad bei In-vivo Messungen.

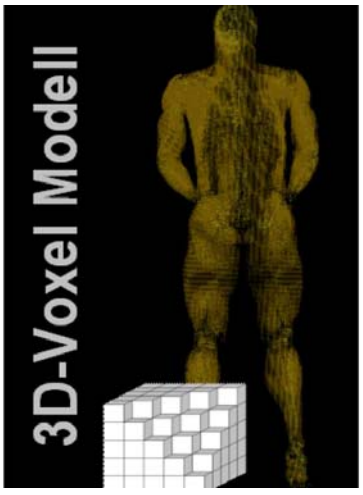


Abb. 6-42: Das Voxelmodell eines Menschen besteht aus geometrischen Volumenquadern

Berechnungen zur Simulation physikalischer Prozesse im Körper benötigen je nach Auflösung des verwendeten Voxelmodells enorme Rechen- und Speicherkapazitäten. Die bei HS-KES eingesetzte Monte-Carlo Simulationssoftware kann jedoch nur mit einer begrenzten Anzahl Voxel rechnen. Um in diesem definierten Voxelbereich rechnen zu können, werden viele Simulationen

mit Teilkörper-Voxelmodellen durchgeführt. Diese sind auf die für die jeweilige Fragestellung relevanten Körperteile des Menschen reduziert. Damit kann zum einen der Rechenaufwand minimiert und zum anderen wieder mit hochaufgelösten (Teilkörper-) Voxeln ($\leq$ 1 mm in x-, y-, z-Achse) gerechnet werden.

1) MEET-Man Voxel-Handmodell für die Dosimetrie und den Strahlenschutz in inhomogenen beta-photon-Strahlenfeldern

Die computergestützten dosimetrischen Simulationen werden zur Optimierung von Strahlenschutzmaßnahmen eingesetzt. Mit Monte-Carlo-Simulationen zur absorbierten Strahlendosis im Gewebe wird z. B. die Hautdosis an den Händen des medizinischen Personals bei nuklearmedizinischen Therapieverfahren wie der der Radiosynoviorthese bestimmt.

Zu diesem Zweck wurde der Körper des MEET-Man im Bereich der rechten Hand mit der Software Voxel2MCNP [5] ausgeschnitten. Dann wurde Schicht für Schicht die Hand mit der Software Microsoft Paint vom restlichen Körper des MEET-Man isoliert, indem der Körper Bild für Bild wegretuschiert wurde. So entstand das Teilkörper-Voxelmodell der MEET-Man Hand **(**Abb. 6-43**)**, mit dem dann die Hautdosis bei der Handhabung einer mit ^{90}Yttrium gefüllten Spritze **(**Abb. 6-44**)** rechnerisch ermittelt werden konnte.

Abb. 6-43: Digitales Voxelmodell einer menschlichen rechten Hand in 1 mm Voxel-Auflösung

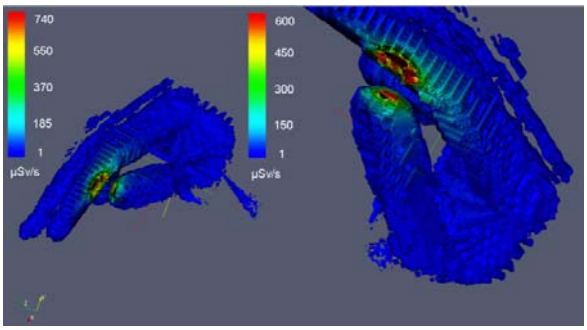


Abb. 6-44: Dosisleistungsverteilung bei Strahlenquelle zwischen Daumen und Zeigefinger in einer menschlichen Voxelhand [Blu07]

Als verbesserte Strahlenschutzmaßnahme konnten die Orte der maximalen Exposition als geeignete Position für ein Handdosimeter ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser dosimetrischen Simulationen wurden veröffentlicht [Blu07, ICRP12, Bec08].

2) MEET-Man Voxel-Torso zum Vergleich mit einem physikalischen Torso-Phantom und zur In-vivo Kalibrierung

Die Isolation des Voxel-Torso aus dem MEET-Man Datensatz erfolgte für vergleichende Berechnungen mit einem physikalischen Referenz-Torso Phantom (Abb. 6-45) für die Optimierung der Kalibrierung der Detektoreffizienz bei In-vivo Messverfahren. Das Ziel ist eine Personen-

adaptierte Effizienzkalibrierung, bei der die Detektorpositionen anhand der im individuellen Modell berechneten Photonenflussdichten optimiert wurden.

Abb. 6-45: Physikalisches Torso-Phantom zur Kalibrierung der Teilkörperzähler von HS (Nachbau des Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) Phantom [Gri78, Gri86])

Für vergleichende Berechnungen musste zunächst eine anatomische Ähnlichkeit zwischen den Modellen erzeugt werden, um damit zur Erstellung individualisierter Phantome einen Registrierungsalgorithmus zur affinen Transformation des Voxelphantoms testen zu können.

Der MEET-Man Voxel-Torso wurde nach den anatomischen Vorgaben eines physikalischen Referenz-Phantoms („Urmodell“ LLNL Torso Phantom) isoliert. Die anatomische Orientierung erfolgte an der Wirbelsäule und geschnitten wurde der Torso des MEET-Man mit der Software voxel2mcnp zwischen Rippen und Becken, sowie zwischen Schultern und Kopf.

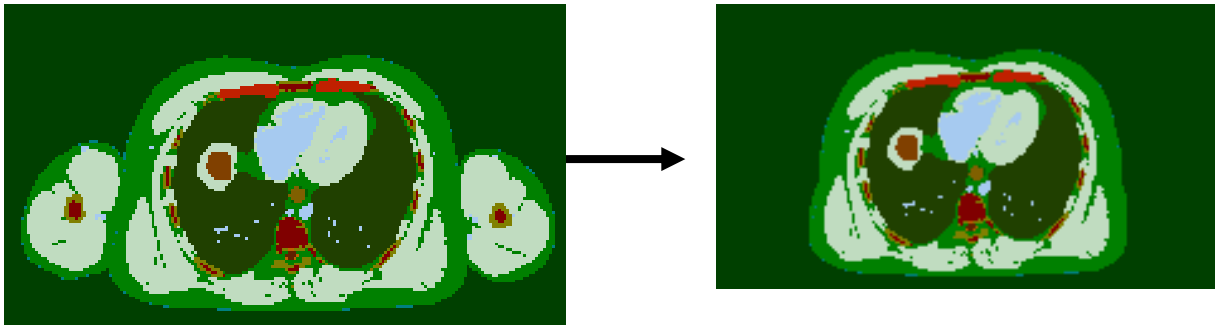


Abb. 6-46: Schichtaufnahme mit Querschnitt durch den MEET-Man (Microsoft Paint) vor und nach dem Retuschieren der Arme (Blickrichtung des Betrachters: von den Füßen in Richtung Kopf des Modells)

Arme und Kinn des MEET-Man wurden in den 163 Schichtbildern so retuschiert (Abb. 6-46), dass die Optik eines T-Shirt Torso entstand (Abb. 6-47).

Abb. 6-47: T-Shirt Torso des MEET-Man in 3 mm Voxel-Auflösung

Als nächstes werden vergleichende Monte-Carlo-Berechnung mit digitalen Voxelmodellen eines Mannes und einer Frau durchgeführt. Anatomische Vergleichsparameter zur Ermittlung eines

geschlechtsspezifischen Einflusses zur absorbierten Strahlendosis im Gewebe und für die In-vivo Kalibrierung sind z. B. der Knochenbau, die Form und Größe der Brust, die Körperfettverteilung und der Muskelaufbau im digitalisierten Computermodell.

6.4.1.3 Use of voxels phantoms for the optimisation of partial body counting Detector set-ups for the measurement with HPGe detectors of the radioactivity in different organs

O. Marzocchi

Within the project of the renewal of the current partial / whole body counting system, a series of optimal detector configurations for partial body counting has been developed, using as main tool Monte Carlo simulations of voxel phantoms. The final goal of this task was the definition of a series of requirements for the mechanical structure that will support the detectors, from the degree of freedom to the range of movements required to accommodate bodies of different sizes.

The work was divided into three parts. In the first part, a series of generic simulations was performed, with only the bare phantom in sitting configuration. MEETman was chosen as phantom because it was already available and easy to implement. Future simulations may be performed with the ICRP phantom, currently under development. The MEETman model represents a 103 kg adult male in laying configuration, therefore the model was cut into three part and adapted to a sitting configuration. The cuts were performed at the height of the hips and in correspondence of the knee, in order to produce a phantom with realistic distribution of mass in the three parts.

The support used as chair was simulated as plexiglass with the same composition and thickness of the support used in the current whole body counter, since no details about the future support were known. The use of carbon epoxy, with high strength and small thickness and small photon absorption, may cause an underestimation of the sensitivity of the detectors behind the body.

The resulting model is shown in Abb. 6-48.

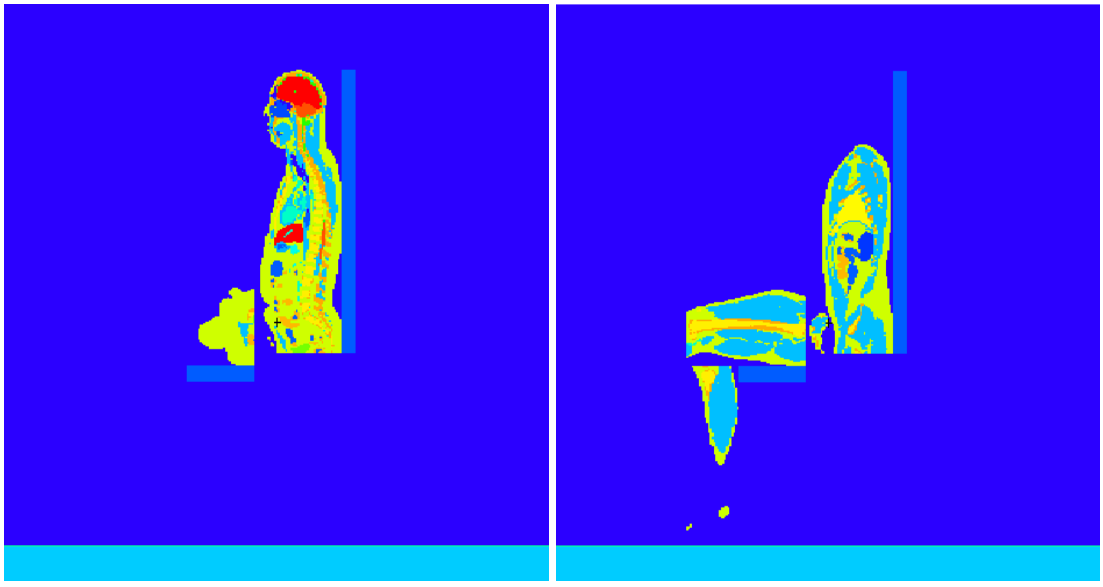


Abb. 6-48: Phantom used for the simulations, as seen with a section through the middle plane of the body and a section through the left leg. Different colours represent different organs

The phantom used had one potential issue: the presence of air and of exposed organs between the cuts. This problem was however proved not to be significant for the goal of the present work, because no organs of interest and therefore no detectors are found near the hips or near the knees. If simulations concerning the knees are required, a different model will have to be developed.

Once the model was built, a series of simulations with different radionuclides loaded in different organs was performed. The radionuclides simulated were K-40, Cs-137, Pb-210, Am-241. The results of each simulation were plotted in 3D with the aid of iso-flux surfaces with the software Paraview (see Abb. 6-49), in order to visualise the regions around the phantom where the counting efficiencies are highest

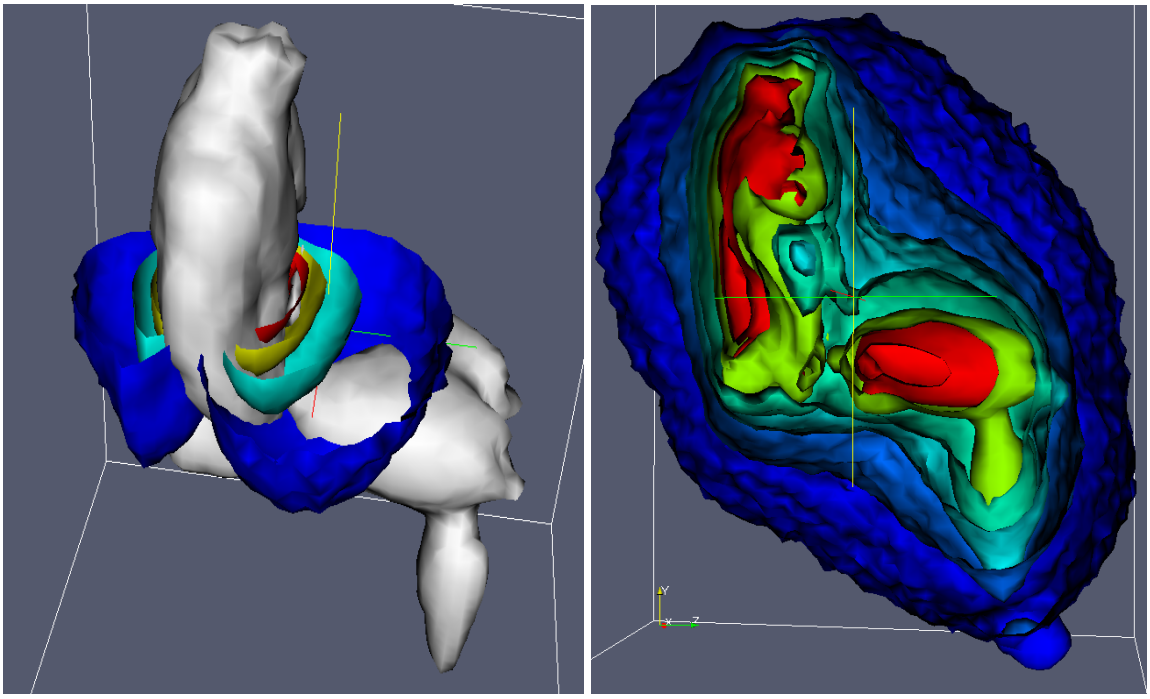


Abb. 6-49: Iso-flux surfaces for two different simulations. On the left the phantom is loaded with Am-241

Virtual models of the HPGe detector currently available at IVM were placed around the phantom in the optimal positions and further simulations were performed. Two setups are shown in Abb. 6-50.

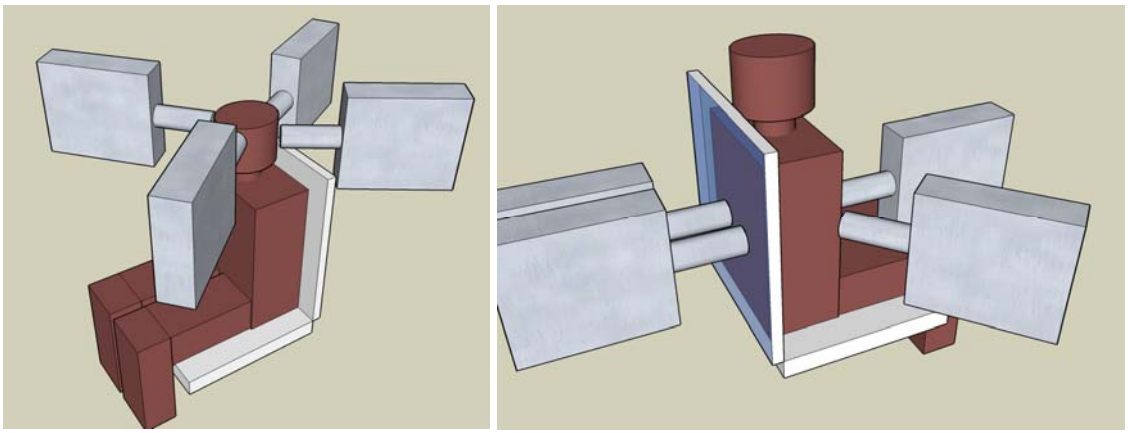


Abb. 6-50: Two configuration for partial body measurements. On the left, configuration for the measurement of low energy emitters (Pb-210, Am-241) in bones, on the right the configuration for the measurement of Am-241 in the liver. The images show only the sketch of the phantom

The results of these simulations were then analysed with the aid of Microsoft Excel and a dynamic worksheet was developed. The worksheet is able to output the expected spectrum, number of counts and MDA for each simulated setup, also by calculating the natural background ex-

pected in the measurement room and the Compton background expected due to the Potassium-40 content of the body. The optimal results expected from the use of the four detectors combined in a 10 minutes measurement are shown in Tab. 6-12.

Setup	Expected results	
	Efficiency	**MDA**
	Cps/Bq	**Bq**
Pb-210 in bones	3,87 E-3	361
Am-241 in liver	6,91 E-3	28,2
Am-241 in lungs	7,57 E-3	25,5
Cs-137 in muscles	1,74 E-3	33,3
K-40 in muscles	1,32 E-3	215

Tab. 6-12: List of expected counting efficiencies and MDAs for selected configurations

After an analysis of the expected counting rates, some setups have been further optimised in order to exchange some efficiency for further knowledge of the location of the radioactive source. To cite an example, the optimal configuration for the liver, shown on the right side of Abb. 6-50, can be modified by placing the two detectors behind the back vertically, one above the other. This would lower the already low efficiency of one of them, but it will allow to measure contaminants in the lungs with better accuracy. The measuring software would be then able to warn the user if significant activity is found outside the liver.

The last step of the work was the definition of the requirements of the mechanic system, from the degrees of freedom to the excursion required to accommodate different body sizes. The degrees of freedom were obtained from the final list of configurations of the detector system, while the excursion of each detector was calculated using [Til]

6.4.1.4 Validation of Monte Carlo simulations with Phoswich detectors and point sources

D. Leone, L. Hegenbart

While the pair of phoswich detectors are still in use, both in the routine measurements and in experiments, Monte Carlo simulations become more and more important in radiation protection, and a validation of them is necessary. That is the reason why we decided to validate a MCNPX Monte Carlo simulation of the actual setup of the partial body counter with phoswich detectors and several point sources. Some work on this topic has already been done [Doe06], but the release of the new version of the code (version 2.6) required an update of such an analysis. With respect to the simulation of the phoswich detectors (a detailed description of this kind of detectors can be found in [Lau68]), the biggest improvement of the version 2.6 is the possibility to simulate the anticoincidence between the first layer of detector made of NaI(Tl) and the second one composed of CsI(Tl). The anticoincidence circuit (possible in this kind of detectors thanks to the different rise time of the signal in the two scintillator crystals) reduces the background from the Compton scattering.

The validation has required the re-estimation of the resolution of the four detectors, two NaI(Tl) and two Cs(Tl).

Here first the resolution estimation is described, and once this quantity was settled, we report about the Monte Carlo validation.

For the resolution estimation, several point sources have been measured with the two phoswich detectors; assuming a Gaussian shape, the peak of each nuclide was fitted, trying to separate the photo-peak from the Compton shoulder for the high energy emitters or from the tail of close peaks, both for the high and low energy emitters. In Tab. 6-13 the nuclides used for the analysis are reported, together with the emission energy.

Low energy detector (NaI(Tl))		High energy detector (CsI(Tl))	
Nuclide	Energy of the peak (keV)	Nuclide	Energy of the peak (keV)
Am-241	17.5	Na-22	511
Ba-133	30	Cs-137	661
Pb-210	46	Co-60	1173
Am-241	59.5	Na-22	1274
Ba-133	81	Co-60	1332
Np-237	86	K-40	1460
Co-57	122		

Tab. 6-13: Nuclides used for the estimation of the resolution of the four detectors, the two NaI(Tl) and the two CsI(Tl) crystals

The major difficulty concerning the nuclides detected with the NaI(Tl) is to distinguish the photo-peak from the other peaks at different energy, i.e. the Am-241 peak at 59.5 keV from the X-rays at lower energies. In order to do that, we used a routine based on the Canberra software [Can06] that allowed us to subtract the tail of one peak contaminating the next one.

For the nuclides at higher energy the problem was indeed to clean the photo-peak from the Compton scattering. Following the work of [Bac97] we described the Compton shoulder with a Fermi-Dirac distribution, leaving two parameters free for the fit.

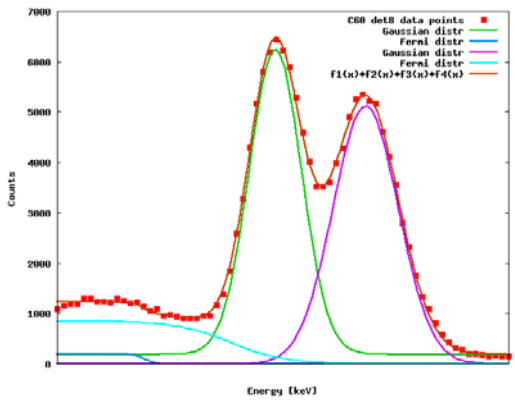


Abb. 6-51: Co-60 spectrum detected from one of the two CsI(Tl) detectors. The two Fermi-Dirac describing the Compton scattering and the two Gaussians for the two photo-peaks are superimposed to fit the experimental data

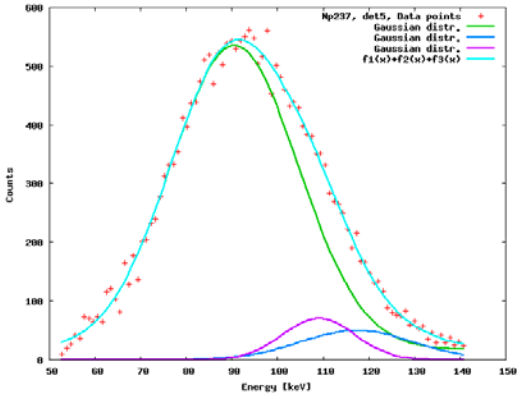


Abb. 6-52: Np-237 nuclide as detected from one of the two NaI(Tl) detectors. The three Gaussians necessary for describing the three peaks at 86.5, 92 and 96 keV are superimposed, as well as the sum of the three.

Using a Gaussian for the description of the peak, we fitted simultaneously the photo-peak and the Compton shoulder, obtaining in this way the full width at half maximum (FWHM) of the

photo-peak. In the cases of superimposition of several peaks, we used more Gaussians for fitting the spectra (i.e. to identify the 17.5 keV peak in the Am-241 spectrum or to separate the two peaks of the Co-60).

In *Abb. 6-51* and in *Abb. 6-52* a couple of examples of the fits are presented, one for the NaI-, the other one for the CsI detector.

As results of these fits, we obtained the FWHM at different energies for each of the four detectors. The last step was then fitting the FWHM as a function of the energy with the analytic form of the resolution:

$$FWHM = a + b\sqrt{E + c \cdot E^2}$$

The fit was repeated for the four detectors.

We report here only one example of such estimation (see Abb. 6-53) and the resolution parameters for all the four detectors:

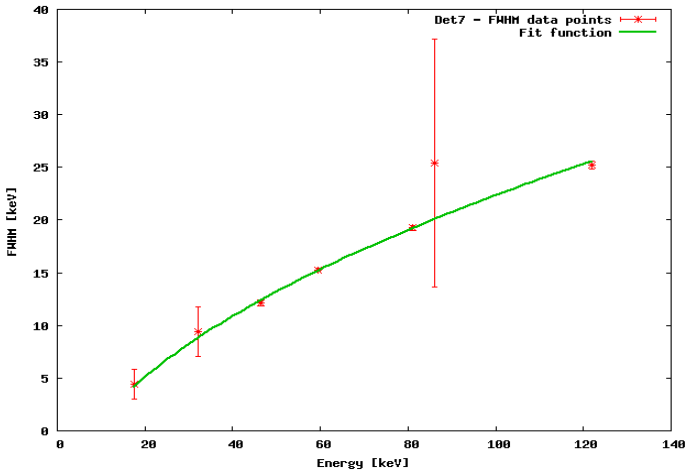


Abb. 6-53: Fit for the estimation of the resolution of one of the two NaI(Tl) detectors

The three parameters in the analytic form of the resolution of the four detectors are:

NaI(Tl) – det5: a = (-0.013 ± 0.001) MeV, b = (0.144 ± 0.006) √MeV, c=0

NaI(Tl) – det7: a = (-0.0090 ± 0.0007) MeV, b = (0.099 ± 0.003) √MeV, c=0

CsI(Tl) – det6: a = (-0.049 ± 0.009) MeV, b = (0.18 ± 0.01) √MeV, c=0

CsI(Tl) – det8: a = (-0.02 ± 0.01) MeV, b = 0.12 ± 0.02) √MeV, c=0

Once we estimated the resolutions, we have tried to validate the model of the detectors, which we have created in MCNPX.

For this step a series of *ad hoc* measurements have been performed. Four different nuclides (Am-241, Co-60, Na-22 and Cs-137) were measured in several positions relative to the detectors. The detectors and the source position were determined with the positioning system described in [Heg08]. Each measurement was simulated reproducing carefully the relative position of the detector to the source. Finally the Monte Carlo results were compared to the measured data. The calculated spectra were smoothed according to the previously performed analysis, using the parameters reported above, and corrected for the detector efficiency. In *Abb. 6-54* two examples of such comparisons are shown. As a low energy emitter we show the 59.5 keV peak of the Am-241 (*Abb. 6-54*). In *Abb. 6-55* the measured peak of the Na-22 is compared with the simulation.

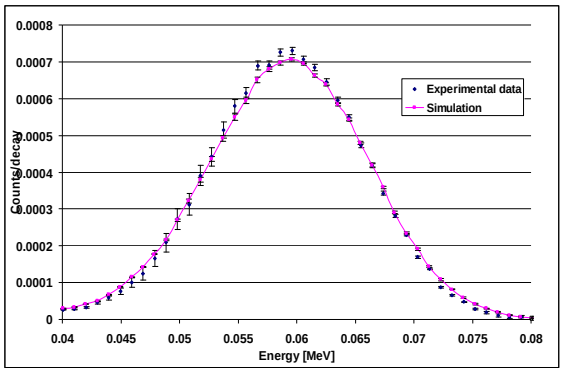


Abb. 6-54: comparison between experimental data (NaI(Tl) detector) and simulation of the 59.5 keV peak of the Am-241 nuclide

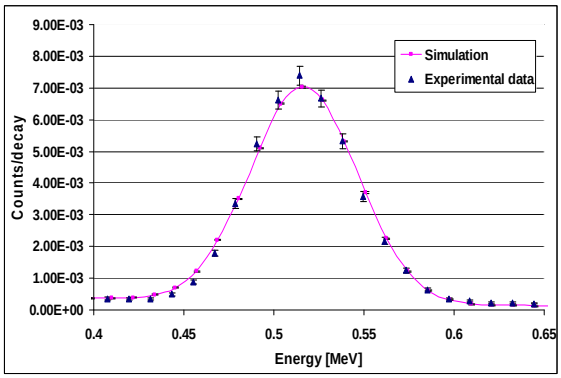


Abb. 6-55: Comparison between experimental data (CsI(Tl) detector) and simulation of the Na-22 first peak. In both the cases the simulated spectra have been corrected for the detectors efficiency

To evaluate numerically the agreement between our simulations and the measured spectra, we can calculate the area below the peaks and compare them.

The comparison is shown in Tab. 6-14, where the peak area in the specified energy range for each nuclide is reported, both for experimental and for the simulated spectra. The numbers show a good agreement between data and calculations with a maximum discrepancy of ca. 2 %, for Co-60 in detector 6. For all the other cases the discrepancies are around the level of 1 %.

Nuclide	Energy range (MeV)	NaI(Tl)-Det5 $(\sum counts/decay)\times10^{-2}$		NaI(Tl)-Det7 $(\sum counts/decay)\times10^{-2}$	
		Data	Simulation	Data	Simulation
Am-241	0.040-0.080	1.189 ±0.009	1.200±0.003	1.23±0.01	1.230±0.003
Nuclide	Energy range (MeV)	CsI(Tl)-Det6 $(\sum counts/decay)\times10^{-2}$		CsI(Tl)-Det8 $(\sum counts/decay)\times10^{-2}$	
		Data	Simulation	Data	Simulation
Na-22	0.41-0.62	4.71±0.06	4.77±0.01	4.71±0.06	4.78±0.01
Cs-137	0.574-0.749	1.71±0.02	1.705±0.004	1.74±0.02	1.742±0.004
Co-60	1.056-1.458	2.70±0.01	2.645±0.007	2.73±0.01	2.698±0.007
Na-22	1.100-1.465	1.30±0.02	1.30±0.06	1.31±0.02	1.31±0.06

Tab. 6-14: Sum of the (counts/decay) in the specified energy range of the nuclides used in the validation for experimental spectra and calculated ones

A further check was performed in order to check our capability to reproduce the exact position of the detectors relative to the source. The four nuclides were measured four times, one time in a reference position (from which we have obtained the previous results) and other three moving the detector along the three axes. Each relative position source-detector has been simulated.

The comparison has not shown any appreciable affects within the experimental errors.

6.4.1.5 Validation of a Numerical Efficiency Calibration Procedure for a Partial Body Counter System with a Voxel Model of the LL-Realistic-Torso-Phantom

L. Hegenbart, O. Marzocchi

Computational simulations of virtual phantoms, as opposed to the use of measurements of real phantoms, are a viable alternative for the calibration of partial body and whole body counting systems. This approach is able to ensure more accurate and reproducible setup of the measurement scenario, with the consequent improvement of the resulting calibration factors, and is able to greatly reduce the time required for the process. The use of computational simulations requires, however, a validated model of both detectors and phantom. This work is centred on the validation of the virtual reproduction of the real LLNL-Torso-phantom, available at the in-vivo laboratory at KIT.

The virtual phantom, built using CT scans of the actual phantom as starting point and then refined manually, was modelled in MCNPX as series of voxels, each one with its own density and material composition [Heg07]. The position of the phantom during the actual measurements was also reproduced with high accuracy in the virtual model, thanks to a laser positioning system used to track the position of specific landmarks found on the phantom itself. The laser positioning system was also used to measure the position of the detector, a HPGe crystal manufactured by Canberra. Such detector had been previously calibrated and a validated MCNPX model of it was already available [Mar07].

Different series of measurements were performed. Starting from a reference position with the detector exactly in front of the organ at the minimum possible distance (Abb. 6-56), different configurations were tested after changing one coordinate per measurement. X-coordinates (posterior-anterior direction, i.e. from the feet to the head) were varying from –6 cm to +6 cm, z-coordinates (from right to left) from –4 cm to +6 cm, and y-coordinates (dorso-ventral direction, i.e. from the torso's back to the front) from 0 cm to +6 cm. Different overlays with the detector in the reference position were also tested. Two nuclides and two organs were used during these tests, specifically liver and lungs with either Am-241 or Pu-239.

The evaluation of the results was performed with Microsoft Excel, after a conversion of the measured spectra and of the MCNPX output into a suitable format. Only the net area of the peaks was taken into account, in order to avoid issues related to different peak broadening in simulations and measurements. An appropriate normalisation was also applied to the results of MCNPX, in order to have all the results in counts per second. The background of the partial body counter room, averaged during a 50,000 s measurement, was always subtracted to the actual measurement data, in order to make the different data compatible.

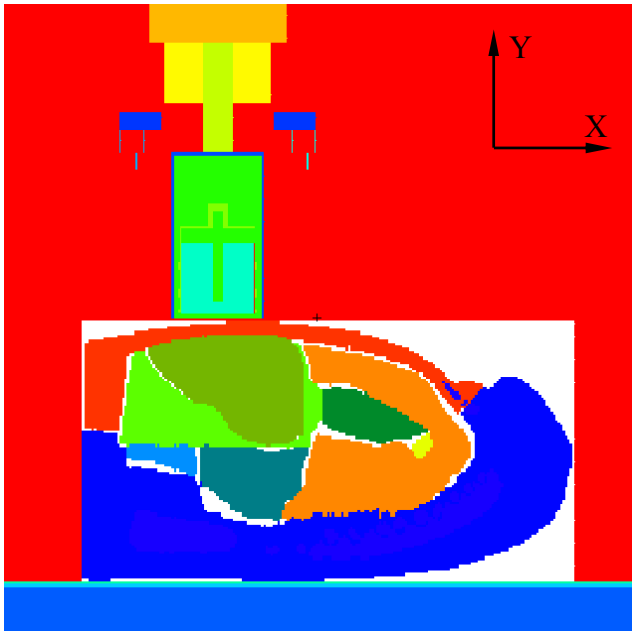


Abb. 6-56: MCNPX model of the configuration of the reference measurement of liver

The comparison of the results of Am-241 shows a very good agreement in the energy range from 35 keV to the full energy peak, with deviations of the ratio measurements-over-simulation smaller than 25 % (Abb. 6-57). The low energy part of the spectrum is less accurate, since the MCNPX model of the detector was not validated for such energy range and since the peak shape of X-ray peaks is different than gamma peaks.

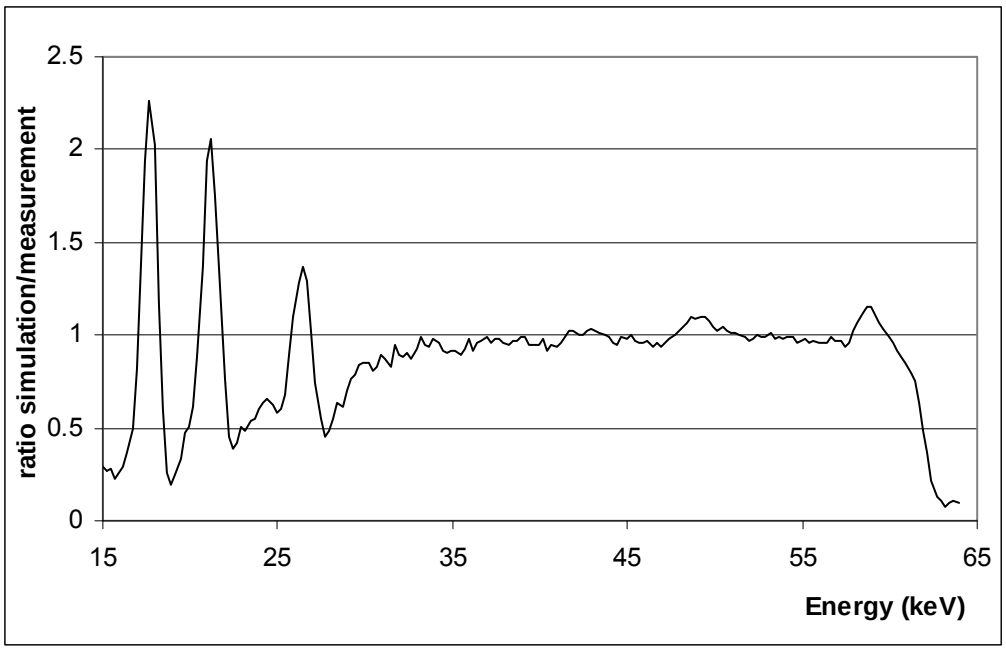


Abb. 6-57: Channel-by-channel ratio between counts per second simulated and counts per second measured in the real spectrum. Reference position in front of the liver.

When the actual peak areas are compared, the agreement of the results improves and the overall error decreases to less than 5%, with a maximum error of 9 %.

Some additional simulations, with the detector shifted compared to the actual coordinates, show an overall high degree of sensitivity of the system to the relative phantom-detector placement: a misplacement of only 5 mm can affect the ratio of “simulated over measured” count rates up to

about 10 %, as shown in Abb. 6-58. The magnitude of such error is comparable to the other sources of error, for example those caused by breathing motion and varying chest wall thicknesses, and therefore it should not be ignored during the quality assurance of the measurement systems.

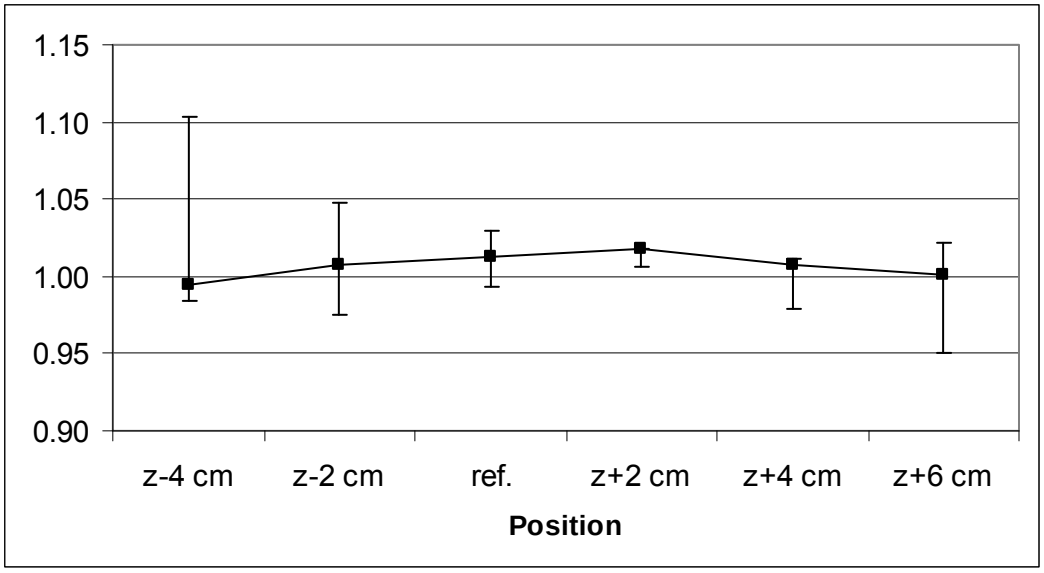


Abb. 6-58: Ratio between integrals of the 59.5 keV peak in the simulated spectra and the corresponding counterparts in the actual measurements, only the z- data set is shown. The error bars are the results of simulations with the detectors shifted compared to the actual measured position

Even if the agreement on the area of the main Am-241 peak is always good, two issues are common to all the spectra: an overestimation by MCNPX of the area of the peak in the 49-52 keV region and a fluctuation of the ratio simulation-over-measurement around the 60 keV peak. The first issue is not yet solved, since the cause is unknown and is reported also in articles from other authors. [Gom07] The second issue is related to the value of the Gaussian energy broadening used in the simulations, not perfectly equivalent to the actual broadening experienced in the detector. This issue is however not important, since all the calculations performed for this work are based on the net area of the whole peak, not on the channel-by-channel equivalence of the results.

The results of the measurements with Pu-239 were not analysed, since the presence of an unknown amount of Am-241 in the organs made the spectra significantly different. The Am-241 found is produced by the decay of the impurities of Pu-241 left at the time of manufacture: the phantom and the organs were bought in the 80's. Given the good results previously obtained with the simulations of the liver loaded with Am-241, an estimation of the amount of contamination in the Pu-239 liver has been performed. The result indicates that the initial amount of Pu-241 in the organs was 0.013 % (atom fraction) of the total amount of Plutonium, value compatible with the capabilities of generic isotope separation processes.

The results of this validation show that the virtual model of the LLNL-torso-phantom is equivalent to the real model, therefore it can be used for the efficiency calibration of detectors whose virtual model is available and validated against point sources measurements.

6.4.1.6 Effektive Brustwandstärke hinsichtlich Phoswich- und HPGe-Detektoren

B Heide

Für Routine-Am-241-Lungenmessungen, welche mit zwei NaJ/CsJ-Phoswich-Detektoren (mit einem Kristall-Durchmesser von 20,32 cm) durchgeführt werden, wird die Brustwandstärke *d* des Probanden durch die folgende Gleichung beschrieben (vgl. [Doe06] und dort zitierte Referenzen):

$$d = 4{,}57\frac{cm^2}{kg}\cdot\frac{G}{L} + 0{,}44cm,$$

wobei *G* für das Gewicht des Probanden in kg und *L* für die Größe des Probanden in cm steht.

Die über diese Formel berechnete Brustwandstärke des Probanden wird dabei mit der Brustwandstärke des Lawrence Livermore Realistic Torso Phantom's gleichgesetzt. Es ergab sich, dass für einen genaueren Zusammenhang zwischen der Brustwandstärke des Lawrence Livermore Realistic Torso Phantom's und der Grösse und des Gewichtes des Probanden die obige Formel überprüft werden muss, da davon auszugehen ist, dass zur damaligen Zeit die Ultraschallmessungen im allgemeinen noch keine Unterscheidung zwischen Fett- und Muskelgewebe ermöglichten. Ferner müssen die Parameter der obigen Formel hinsichtlich der Messungen mit HPGe-Detektoren modifiziert werden.

6.4.1.7 Dosis innerhalb einer Wasserkugel in Abhängigkeit von Zellendicke, -anzahl und Energieverlust-Zuteilungs-Modus bei einer isotropen monoenergetischen Beta-Punktquelle

B. Heide, M. Steinhoff, Chr. Blunck

Die Messung der Beta-Dosis in einer Tiefe von 0,07 mm Tiefe eines gewebeäquivalenten Materials ist aufgrund des hohen Dosisgradienten experimentell schwierig. Monte-Carlo-Methoden bieten für diese Aufgabe eine sinnvolle Ergänzung. Zur Berechnung der Dosis in Tiefen von 0,01 mm bis 1,00 mm werden von der Abteilung HS-KES die Transportprogramme MCNP5 und MCNPX eingesetzt. Da bei MCNP im Default- und im ITS-Modus der Random Walk bzgl. eines vorausberechneten Energiegitters erfolgt, können sich bei dünnen Zellen Artefakte ergeben. Anhand des folgenden – bewußt einfach gewählten – Szenariums wurden die Auswirkungen der Zellendicke, der –anzahl und des Energieverlust-Zuteilungs-Modus auf die Dosisberechnung untersucht (vgl. hierzu [Rey02]).

Szenarium

Eine isotrope Beta-Punktquelle befindet sich im Inneren einer mit Wasser gefüllten Kugel und emittiert monoenergetische Elektronen mit einer kinetischen Energie von 1 MeV; vgl. Abb. 6-59. Der Radius der Wasserkugel beträgt 0,5 cm. Die Dosis wurde bzgl. Kugelschalen bestimmt, deren Dicken 0,002 cm, 0,005 cm, 0,02 cm oder 0,04 cm betrugen. Es wurden jeweils zwischen 10^6 und 10^7 Teilchengeschichten gerechnet. Der zählstatistische Fehler der simulierten Dosiswerte lag um einige Größenordnungen unter diesen Werten und wird deshalb nachfolgend vernachlässigt.

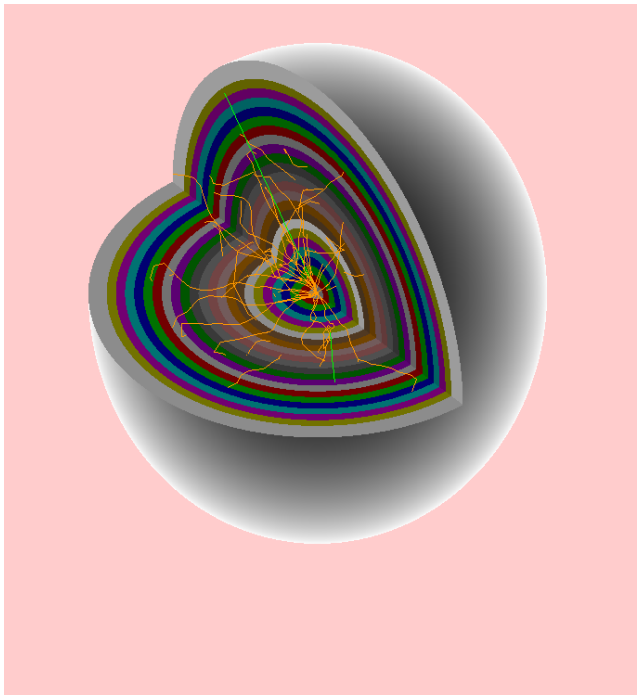


Abb. 6-59: Homogene Wasserkugel in deren Mittelpunkt sich eine isotrope 1 MeVBeta-Punktquelle befindet. Die Elektronenwege sind zickzackförmig (orange) die Photonenpfade (grün) sind geradlinig gezeichnet. Zur besseren Abgrenzung wurden die Kugelschalen farbig dargestellt.

Analytische Dosisabschätzung

Neben den numerischen Dosisberechnungen wurde die Dosis in einem Abstand von 0,27 cm vom Kugelmittelpunkt mit „der Hand“ abgeschätzt. Die hierzu nötige CSDA Range betrug 0,44 cm und die Mass Stopping Power belief sich auf 2,07 MeVcm^2/g (vgl. [NIST08]). Mit der Mass Scattering Power von 2,99 radian^{2}cm^2/g (siehe [ICRU35]) ergab sich für die Fluenz der Wert 1,53E+07 cm^{-2} und für den Term „Dosis • Abstand^2“ ergab sich schließlich der Wert 0,37E-10 cm^{2}Gy/Elektron. Dieser Wert stimmt mit dem numerisch berechneten Wert von 0,43E-10 cm^{2}Gy/Elektron, bei dem eine Zelldicke von 0,04 cm angenommen und der Energieverlust-Zuteilungs-Modus von H. G. Hughes (StSp-Mode; s. nächsten Abschnitt) verwendet wurde, relativ gut überein (14 % Abweichung) — in Anbetracht der bei Beta-Dosen übliche Toleranz von 30 %.

Die Methode der „Abschätzung mit der Hand“ hat sich trotz der vereinfachten Annahmen als durchaus vernünftig erwiesen. So ergab die „Abschätzung mit der Hand“ für die Dosis in 0,07 mm Tiefe bzgl. eines Daumens, der eine mit einer Y-90-Lösung (mit 185 MBq) gefüllte Spritze berührt, einen Wert von 1280,7 µSv/s (für die Nettoaktivität wurde hierbei die Selbstabsorption und die Flächenverhältnisse beim Hohlzylinder berücksichtigt). Die MCNP-Simulation ergab nach Referenz [Bec08] bzgl. des geometrischen Handphantoms einen Wert von 1490 µSv/s und hinsichtlich des Voxel-Handphantoms einen Wert von 600 µSv/s.

Dosisberechnung im Default-, ITS- und StSp-Modus und nach der Methode von Schaart et al.

In MCNP5 stehen drei Energieverlust-Zuteilungs-Moden zur Verfügung: der Default-Modus, der ITS-Modus und der StSp-Modus (StSp steht für „Step-Specific Energy Straggling Logic; dieser Modus wurde von H. G. Hughes [Hug05] entwickelt). Gemäß Abb. 6-60 wird sowohl im ITS- als auch im StSp-Modus die Energie „schneller deponiert“ als im Default-Modus. Dieser Sachverhalt gilt gleichermaßen für die räumliche Auflösung von 0,02 cm wie für die Auflösung von

0,04 cm. Ferner ist anhand Abb. 6-60 erkennbar, dass im ITS-Modus die Größe „Dosis pro Fluenz“ von der räumlichen Auflösung abhängt (vgl. hierzu auch Referenz [Rey02, Sch02]), wohingegen dies im StSp- und im Default-Modus nicht der Fall ist. Die Kurve im ITS-Modus mit einer räumlichen Auflösung von 0,04 cm ist nahezu invariant gegenüber Anzahl der Kugelschalen. Zur Verdeutlichung der Abhängigkeit des ITS-Modus von der räumlichen Auflösung wurden in Abb. 6-61 die Dosen einer 0,04 cm dicken Kugelschale, einer 0,02 cm dicken Kugelschale und einer 0,002 cm dicken Kugelschale aufgetragen. Der mittleren Kugelschalenradius betrug bei allen drei Kugelschalen 0,27 cm. Gemäß Abb. 6-61 bewirkt eine Kugelschale, deren Dicke gegenüber der 0,04 cm dicken Kugelschale um den Faktor 20 geringer ist, eine um etwa 3 % höhere Dosis.

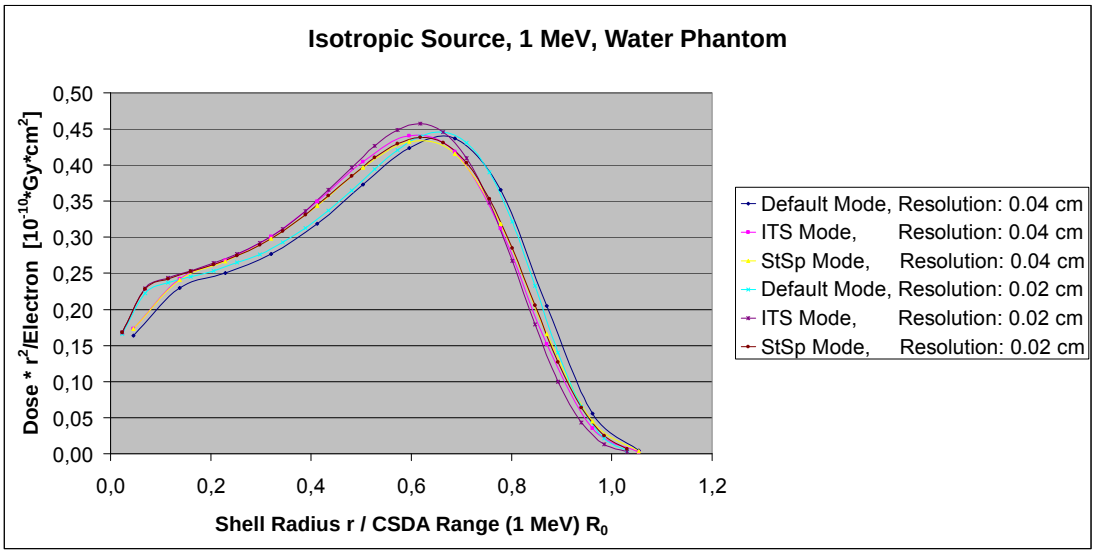


Abb. 6-60: Dosis pro Fluenz und pro 4π in Abhängigkeit vom Kugelschalenradius (skaliert mit der CSDA Range von 0,44 cm) für drei unterschiedliche Energieverlust-Zuteilungs-Moden und zwei unterschiedlichen Auflösungen

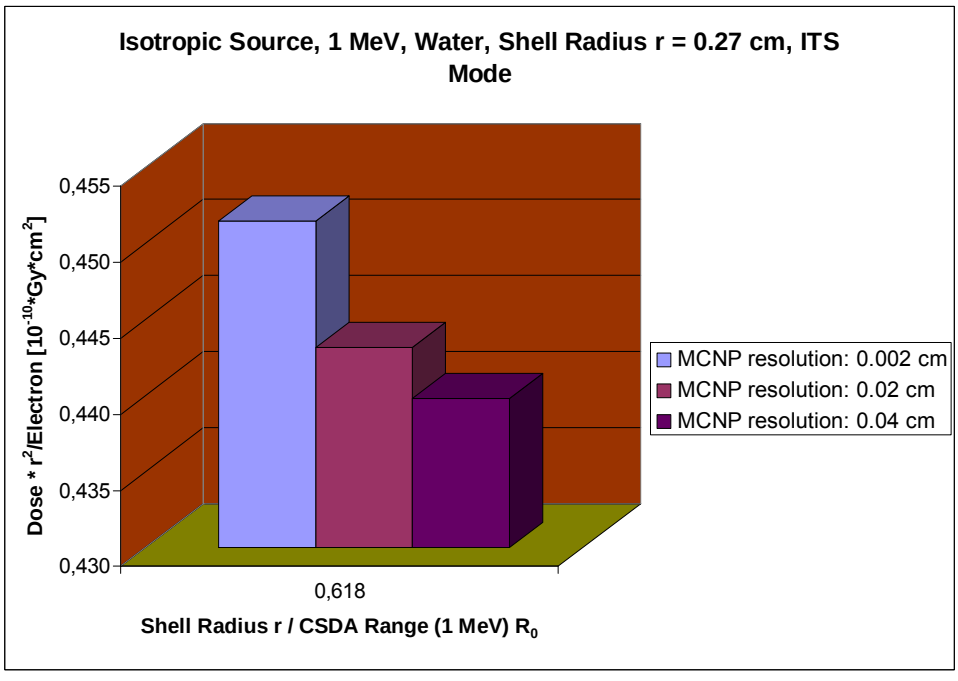


Abb. 6-61: Dosis im ITS Modus pro Fluenz und pro 4π bzgl. eines mittleren Kugelschalenradius von 0,27 cm für drei Kugelschalen unterschiedlicher Auflösung

Die Abhängigkeit der Dosis von der Zellendicke (Kugelschalendicke) im ITS- Modus kann mit der Methode von Schaart et al. [Sch02] eliminiert werden. Dies wird in Abb. 6-62 demonstriert. Die Kurve (blau) mit dem höchsten Peak bezieht sich ausschließlich auf den ITS-Modus. Sie ist gegenüber der Kurve (rot) im StSp-Modus deutlich überhöht. Die mit der Methode von Schaart et al. und ohne Verwendung des Normalisierungsfaktors erzeugte Kurve (violett) ist dagegen deutliche niedriger als die Kurve im StSp-Modus. Der Unterschied zwischen der im StSp-Modus generierten und der im ITS-Modus sowie nach der Methode von Schaart et al. erzeugten Kurve verschwindet allerdings , wenn die (letztgenannte) Kurve mit dem von Schaart et al. angegebenen Normalisierungsfaktor skaliert wird (vgl. rote und [darunter liegende] braune Kurve]). Der Normalisierungsfaktor, der „nur“ zusätzlich zur Modifikation der Antwortfunktion für die Berücksichtigung der Restenergie der Elektronen eingeführt wurde, ist also im vorliegendem Fall signifikant. Die Dosisberechnung im ITS-Modus unter Verwendung der Methode von Schaart et al. (und des Normalisierungsfaktors) ist sowohl in MCNP5 als auch in MCNPX möglich. Sie ist jedoch auf den Fall beschränkt, dass alle Zellsegmente zum gleichen Material gehören. Dagegen ist die Dosis-Berechnungsmethode mit dem StSp-Modus, welche fundamentaler ist, auch für den Fall geeignet, bei dem die dünnen Zellen zu verschiedenen Materialien gehören. Allerdings ist der StSp-Modus gegenwärtig nur in MCNP5 implementiert. Die CPU-Zeit pro emittiertem Elektron betrug bei der roten Kurve (StSp Mode) in Abb. 6-62 ca. 9,86E-05 Minuten, wohingegen sie bei der darunter liegenden braunen Kurve (ITS Mode, Method of Schaart et al.; sacled) ca. 3,13E-04 Minuten betrug. Des Weiteren ist aus Abb. 6-62 durch Vergleich der hellblauen mit der dunkelblauen Kurve ersichtlich, dass die Anpassung des ESTEP-Parameters derart, dass ein Elektron in der Zelle mindestens 10 Zwischenschritte ausführt (dies wird im MCNP-Manual empfohlen), keinen Effekt nach sich zieht (außer dem, dass sich die Rechenzeit erhöht).

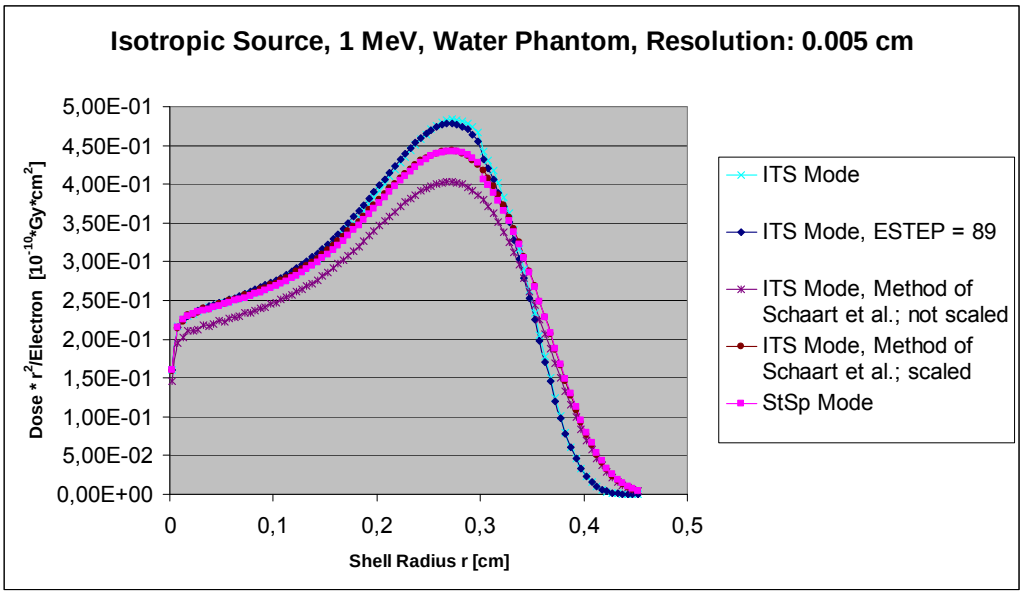


Abb. 6-62: Dosis pro Fluenz und pro 4π in Abhängigkeit vom Kugelschalenradius für unterschiedliche Modi, Skalierungen und Zwischenschritte (ESTEP = 89 und ESTEP = 3 = default [der Default – Wert wurde in der Legende nicht vermerkt]

In Abb. 6-63 ist die Dosis pro Fluenz über den Kugelschalenradius für 2 unterschiedliche MCNP-Zellen (0,02 cm dicke Kugelschalen und 0,04 cm dicke Kugelschalen) und für 2 unterschiedliche Scoring-Zellen (ebenfalls 0,02 cm und 0,04 cm dicke Kugelschalen) bzgl. des ITS-Modus aufgetragen. Die Dicke der Scoring-Zellen wird als „used resolution“, die Dicke der MCNP-Zellen wird als „MCNP resolution“ bezeichnet. Die 0,02 cm dicke Scoring-Zelle ist mit der entsprechenden MCNP-Zelle identisch, die 0,04 cm dicke Scoring-Zelle besteht aus zwei 0,02 cm dicken MCNP-Zellen — insbesondere wird die in ihr deponierte Energie aus den Ener-

gien berechnet, die in den 0,02 cm dicken MCNP-Zellen deponiert wird. In Abb. 6-63 bezieht sich die mit Quadraten gekennzeichnete Kurve (rosa-rot) auf den Fall „Dicke der MCNP-Zellen = Dicke der Scoring-Zellen = 0,04 cm“, wohingegen die mit Dreiecken gekennzeichnete Kurve (gelb) sich auf den Fall „Dicke der MCNP-Zellen = Dicke der Scoring-Zellen = 0,02 cm“ bezieht. Die mit Quadraten gekennzeichnete Kurve weicht im Peak-Bereich (bei 0,27 cm) etwas von der mit Dreiecken gekennzeichneten Kurve ab. Diese Abweichung verschwindet aber nahezu hinsichtlich Scoring-Zellen, deren Dicke dem Doppelten der MCNP-Zellendicke entspricht — hierauf bezieht sich die mit Karos gekennzeichnete Kurve (blau). Demnach ist die Kurve der deponierten Dosis im wesentlichen von der Dicke (Auflösung) der MCNP-Zellen abhängig und nicht signifikant von der Größe des Scoring-Volumens. Der Unterschied zwischen der blauen und der gelben Kurve wird durch die unterschiedliche Anzahl der Zellen bewirkt. Zur Verdeutlichung ist in Abb. 6-64 die Dosis für Kugelschalen unterschiedlicher Auflösung sowie für ein Scoring-Volumen von 2 x 0,02 cm = 0,04 cm dargestellt. Vor den Kugelschalen befinden sich entweder keine, oder eine, oder 13 weitere Kugelschalen. Der relativ große Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Säule von links kommt bereits (!) durch die kleine Anzahl von 13 Kugelschalen zustande, die die Elektronen vor dem Erreichen der Kugelschale mit dem mittleren Radius von 0,27 cm durchqueren müssen. Auch der kleine Unterschied zwischen der dritten und vierten Säule von links wird durch die unterschiedliche Anzahl der Kugelschalen (zwei Schalen gegenüber einer Schale) bewirkt. Der Unterschied in der Dosis zwischen der ersten und zweiten Säule von links ist vergleichbar (genauer: etwas größer) mit dem Dosisunterschied, der sich zwischen einer 0,002 cm dicken und 0,02 cm dicken Kugelschale ergibt (s. Abb. 6-61). Demnach tritt der „Dosis-Zellendicke (Auflösung) – Effekt“ fast so deutlich in Erscheinung wie der „Dosis-Zellenanzahl – Effekt (nach 13 Zellen)“.

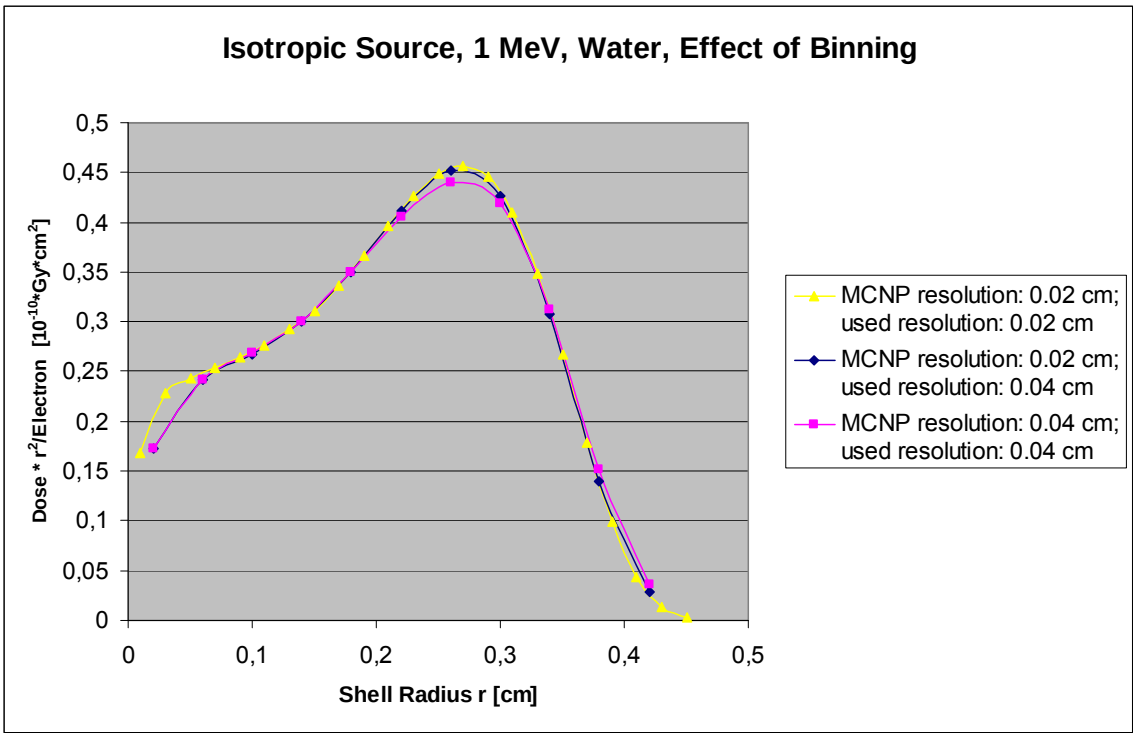


Abb. 6-63: Dosis pro Fluenz pro 4π in Abhängigkeit vom Kugelschalenradius für unterschiedliche Auflösungen; vgl. Text

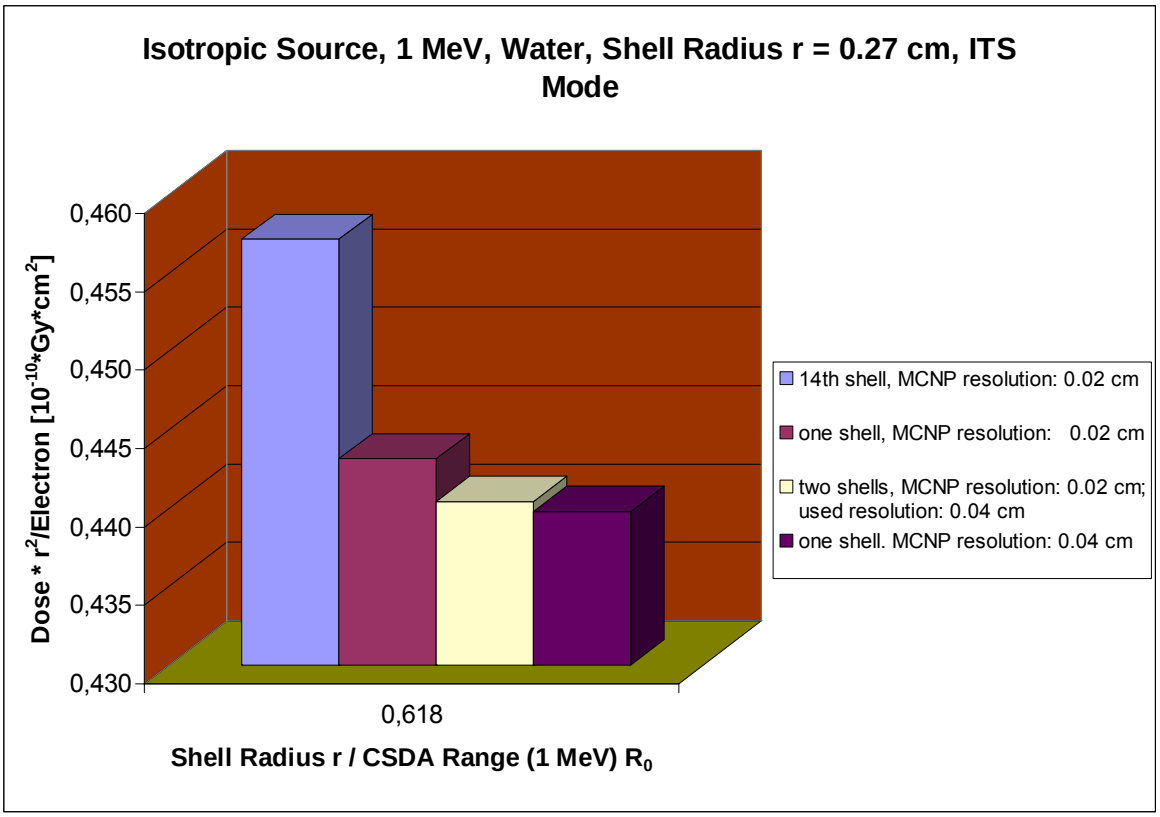

Isotropic Source, 1 MeV, Water, Shell Radius r = 0.27 cm, ITS Mode
Dose * r²/Electron [10⁻¹⁰*Gy*cm²]
0,460
0,455
0,450
0,445
0,440
0,435
0,430
0,618
Shell Radius r / CSDA Range (1 MeV) R0
14th shell, MCNP resolution: 0.02 cm
one shell, MCNP resolution: 0.02 cm
two shells, MCNP resolution: 0.02 cm; used resolution: 0.04 cm
one shell. MCNP resolution: 0.04 cm

Abb. 6-64: Dosis im ITS Modus pro Fluenz und pro 4π bzgl. eines mittleren Kugelschalenradius von 0,27 cm für Kugelschalen unterschiedlicher Auflösung sowie für ein Scoring-Volumen von 2 x 0,02 cm = 0,04 cm. Vor den Kugelschalen befinden sich entweder keine oder eine oder 13 weitere Kugelschalen.

6.4.1.8 Simulation von durch Elektronen verursachten Dosen innerhalb dünner Schichten von gewebeäquivalenten Materialien

M. Steinhoff, B. Heide, M. Urban

Die numerischen Simulationen wurden mit dem Strahlentransportprogramm MCNP (Monte Carlo N-Particle) durchgeführt. Das Programm ist ein Simulationscode für den Strahlungstransport in beliebigen Materialien und Geometrien. Mit MCNP können Teilchengeschichten von Photonen, Elektronen, Neutronen, Protonen und anderen, schweren geladenen Teilchen simuliert werden. Die Eingabe der Komponenten des Simulationsszenarios**,** wie etwa die Geometrie, Strahlenart, Quellenform, Energie und Art der Partikel, erfolgt über Input Files, die in einer Metasprache geschrieben sind.

Jede Teilchengeschichte eines Elektrons wird einzeln berechnet. Dabei wird berücksichtigt, dass der Energieverlust und die Wahrscheinlichkeit der Art der Wechselwirkung, wie z. B. Stoßbremsung in Form von weichen oder harten Stößen oder Bremsstrahlerzeugung, abhängig ist von der Energie des Elektrons und den physikalischen Eigenschaften des Materials, in dem die Wechselwirkungen stattfinden**.**

Ein Ziel dieser Arbeit war es, ein Experiment am Betasekundärnormal (BSS2) mittels Simulation nachzustellen; vgl. Abb. 6-65, Abb. 6-66 und Abb. 6-68. Hierfür wurden Thermo-Lumineszens-Detektoren (TLDs, s. Abb. 6-67) mit der Sr-90/Y-90-Quelle bestrahlt.

Mit Frischhaltefolie wurden TLDs mit den Schichtdecken 0,08 mm, 0,5 mm, 1 mm und 2 mm abgedeckt und anschließend mit der Sr-90/Y-90-Quelle des BSS2 bestrahlt.

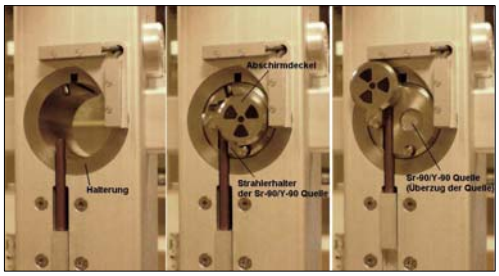


Abb. 6-65: Betasekundärnormal
Links: Halterung
Mitte: Strahlerhalter geschlossen in der Halterung
Rechts. Strahlerhalter geöffnet

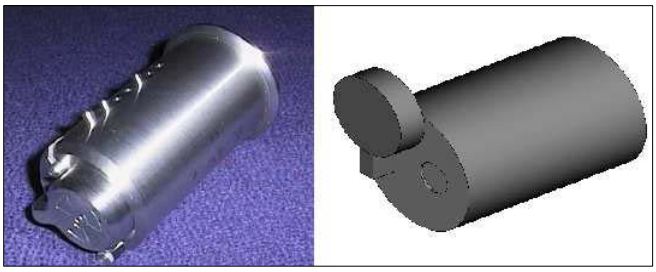


Abb. 6-66: Strahler des BSS2
Links: Foto
Rechts: geöffneter Strahlerhalter, modelliert mit MCNP

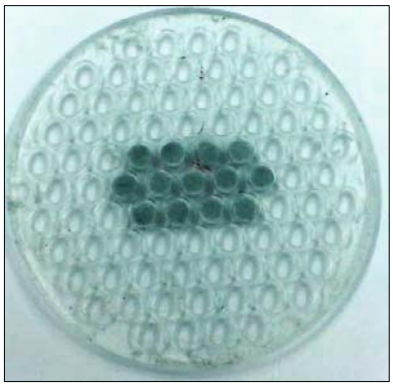


Abb. 6-67: Bestrahlungsschale mit TLDs

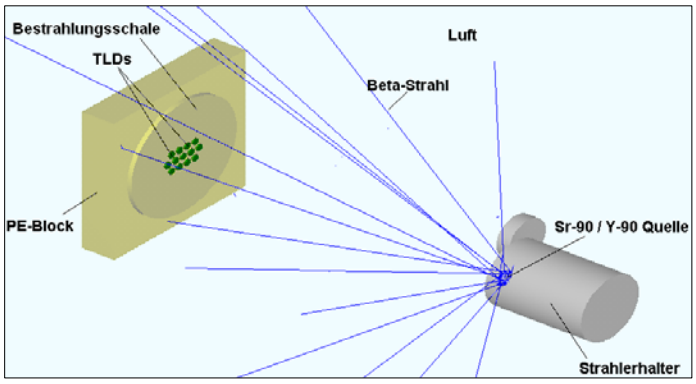


Abb. 6-68: Simulation des Messaufbaus, visualisiert mit dem Programm Sabrina

Der Messaufbau wurde mit MCNP so nah wie möglich am Experiment modelliert (vgl. *Abb. 6-68*). Hierbei wurde berücksichtigt:

- das Sr-90/Y-90 Beta-Kontinuum,
- die Abmessungen und Materialien und die Zusammensetzung eines Beta-TLDs
- (aktive Schicht und Trägerschicht),
- die Entfernung des Strahlers zu den TLDs,
- das Material und die Geometrie des Strahlerhalters und der Quelle,
- die Materialzusammensetzung und -eigenschaft der Frischhaltefolie sowie
- die Materialeigenschaften und die Geometrie der
- Bestrahlungsschale.

Der Wert, der von MCNP berechnet wird, ist die Energiedeposition (in MeV) in einer Zelle pro emittiertem Teilchen. Um von diesem Wert auf die bestrahlte Energiedosis des TLDs zu gelangen, müssen folgende Umrechnungen erfolgen:

$$D[Gy] = \frac{\text{MCNP-Ausgabewert}\left[\frac{MeV}{Zelle}\right]}{m_{Zelle}[g]} * 1{,}602 * 10^{-13}\left[\frac{J}{MeV}\right] * 1000\left[\frac{g}{Kg}\right] * A_t[Bq] * t_B[s]$$

$$m_{Zelle} = \frac{V_{Zelle}}{\rho_{Zelle}}$$

mit:

$$A_t = A_0 * e^{\frac{-\ln 2 * t_z}{T\frac{1}{2}}}$$

D	Energiedosis [Gy]	
m_{Zelle}	Masse der Zelle (TLD-Dünnschicht):	0,001145111 g
*F8-Wert	Ausgabewert von MCNP [Mev/Zelle]	
ρ_{Zelle}	Dichte des Materials in der Zelle:	2,4 g/cm³
V_{Zelle}	Volumen der Zelle:	0,000477129 cm³
t_B	Bestrahlungsdauer:	357 s
A_t	Aktivität der Sr-90/Y-90 Quelle 08.2008:	405 MBq
A_0	Aktivität der Sr-90/Y-90 Quelle 05.2003:	460 MBq
t_Z	Vergangene Zeit:	5,25 a
T ½	Halbwertszeit Sr-90:	28,6 a

Zum Vergleich der Simulation mit dem Experiment wurden u. a. Transmissionsfaktoren simuliert; s. Abb. 6-69. Ergebnis: Bis auf den Wert bei 2 mm stimmen Simulation und Experiment gut überein. Die Abweichung (sie ist bzgl. dünner Schichten [≤ 1 mm] nicht relevant) könnte aus einer zu dünn gewählten Quellabdeckschicht resultieren.

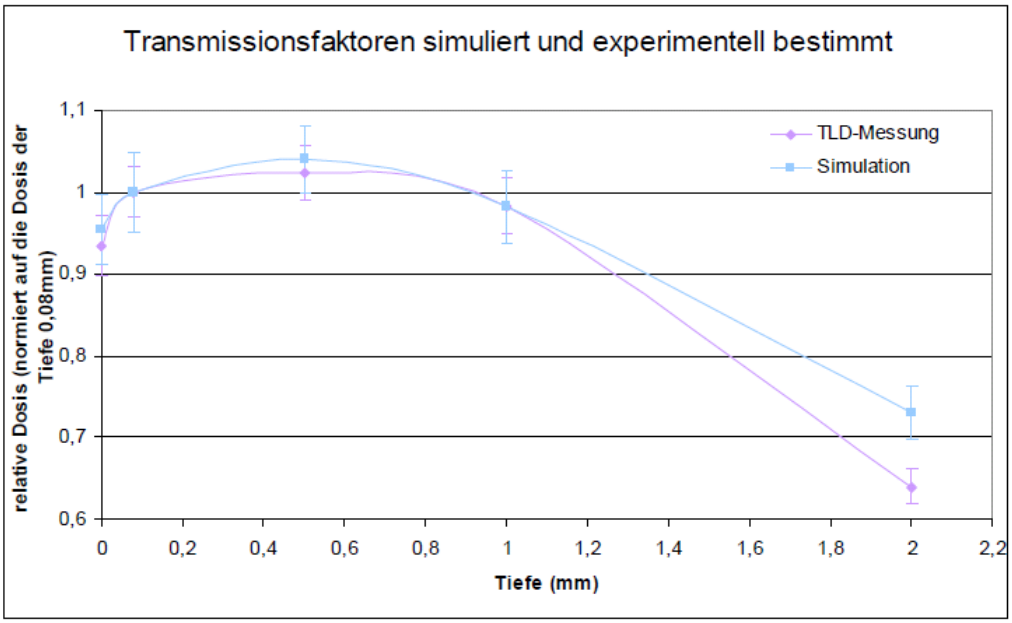


Abb. 6-69: Vergleich des Experiments mit der Simulation

6.4.1.9 Application of image registration techniques to create individual voxel models

L. Hegenbart

Anthropometric values like body weight, height, or chest circumference differ for from person to person. These parameters have an influence on radiation attenuation and hence detector efficiency for partial body counting. Monte Carlo computer simulations for the determination of the detector efficiency have been validated successfully with a voxel model of the LLNL Torso Phantom [Heg09]. The next step is to create an individual model for each proband to setup a virtual partial body counting scenario, to calculate individual detector efficiencies numerically. It is assumed that Monte Carlo simulations reduce the systematic calibration errors of the current detector efficiency calibration method.

One possible method of creating customized model is the segmentation of tomographic scans from CT or MRT, but segmentation of tomographic scans is an expensive, tedious, and time-consuming procedure. In the following paragraphs a new approach based on image registration for creating customized models is presented.

Image registration is the process of transforming two sets of data into one coordinate system. Classically image registration is necessary in order to be able to compare or integrate the data obtained from different measurements of the same subject. With this technique, for instance, a CT and PET images from one patient are superimposed that areas of abnormality on the PET image can be correlated with anatomy details on the CT image [Yoo04]. One image data set that needs to be transformed is called moving image. Another image data set acts as the template for the transformation, which is fixed. Therefore, it is called the fixed image. Image registration is an optimization problem. It is about finding the optimal transformation that delivers the best match of the moving image with the fixed image.

Image registration concept for customized models

Point set image registration techniques can be used to create customized models from already segmented voxel models, i.e. using segmented voxel models as moving images, while the fixed images originate from individuals.

A whole body scanner can generate a three-dimensional point cloud of a proband's body surface. Ideally, for the scan and the in-vivo measurement the proband should be in a similar posture and position like the moving image.

Then, the point cloud of the proband can be used as fixed image data. The segmented voxel model's body surface can be used as moving image data. Then the transformation resulting from the point set registration procedure is applied to the complete segmented voxel model to create a customized voxel model.

So far, an unsolved problem is that a whole body scanner cannot look into the body. Therefore, the position of the organs and the thickness of adipose layers and also chest wall thickness cannot be determined. Nevertheless, the introduced concept exhibits a possibility to improve the generation of customized models rather than linearly scale the voxel models.

Method and implementation

The Iterative Closest Point (ICP) algorithm [Bes92] is employed to perform the point set registration of two point clouds. The advantage of ICP algorithm is that it works without the knowledge of the corresponding points from the two point sets. The Insight Toolkit (ITK) [Iba05] – a C++ programming language framework – is used to compute the image registration and provides an implementation of the ICP. One can choose various transformation types in ITK for image registration. The simplest linear transformations are translation and rotation. A more advanced

linear transformation is implementation of an affine transformation in ITK, which combines rotation, scaling, shear, and translation in a 4x4 matrix.

The implementation of the proposed concept is part of the in-house developed Voxel2MCNP code [Heg06]. A flowchart (Abb. 6-70) describes the steps visually. Voxel2MCNP is able to generate a point cloud from the moving image, i.e. the already segmented voxel model and load a point cloud from a whole body scanner. The user chooses a transformation type and then an ICP point-set-to-point-set registration method from ITK is initialized and accompanied by a Euclidean distance metric and by a Levenberg-Marquardt optimizer. Depending on the number of points in the point sets, the chosen transformation, and the quality of the initial alignment, the algorithm will take a couple of minutes up to few hours to complete. Finally, the registration outputs the parameters of the chosen transformation.

The transformation is then applied to the moving image voxel model. When a transformation is applied to a voxel image, the voxels are moved most probable to non-grid spaces. That means, a remapping of the transformed model is necessary. This is done with a resampling image filter in combination with a nearest neighbour interpolator.

An example for the registration is illustrated in Abb. 6-71 and Abb. 6-72.

Application of customized model for numerical detector efficiency calibration

Monte Carlo investigations have been performed to check if the proposed approach to generate customized models with image registration is useful for improving numerical detector efficiency calibration. The model of the LLNL Torso Phantom has been registered with affine transformation to the voxel models of the MEET Man [Sac96] and the Zubal's torso [Zub94] and then used for determination of the lung and liver counting detector efficiency with MCNPX [Pel05]. Am-241 has been used as a representative for low-energy photon emitter. Calculated Phoswich detector efficiencies in the energy range from 20 to 80 keV have been compared with those determined by the current method, which is based on a calibration curve estimated with the LLNL Torso Phantom with different chest plate overlays.

The liver and lung detector efficiencies calculated for the MEET Man and the Zubal torso model are considerable lower than the corresponding values on the calibration curve. This illustrates the systematic errors that can occur in the current calibration methods used at the in-vivo laboratory. For the lung (liver) counting simulations, the calibration curve gives a 25 % (75 %) higher detector efficiency than the simulated detector efficiency for the MEET Man. The registered model gives an overestimation of just 14 % (62 %). Similar are the results for the Zubal torso model. The calibration curve gives a 35 % (82 %) higher detector efficiency than the simulated detector efficiency. The registered model gives an overestimation of just 11 % (64 %).

For all cases, a considerable improvement could be achieved with the novel registration technique. The calculated values are more close to the correct values than the values from the calibration curve. It is planned to use image registration with deformable transformations in the future to further improve the results.

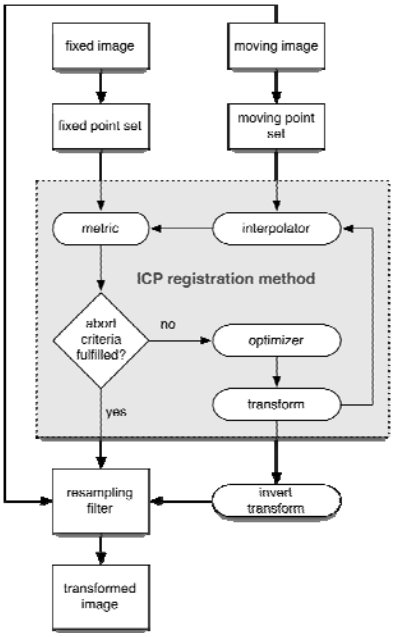


Abb. 6-70: The flowchart illustrates, how the proposed registration method is applied to transform a voxel model (moving image) to match a fixed image

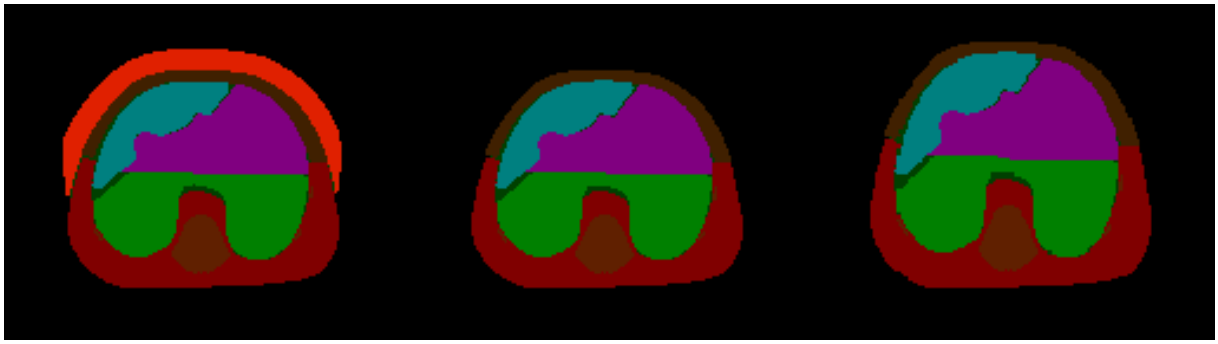


Abb. 6-71: The three images show sections of the model of the LLNL Torso Phantom with overlay 4 (left image), which was used as the fixed image, the moving image (middle image) and the affine registered (transformed) model (right image)

Abb. 6-72: The three images are differential images generated from the images in Abb. 6-71. The left image shows the difference of non-air voxels between moving and fixed image, resulting in the overlay 4. The middle image shows the difference of non-air voxels of the fixed image and the transformed image. The right image is a coloured version of the differential image of fixed and transformed image. It illustrated considerable shifts of the organs in the registered model

6.4.2 Biokinetik radioaktiver Stoffe im Körper

B. Breustedt

Werden radioaktive Stoffe in den Körper aufgenommen, nehmen sie an Stoffwechselprozessen teil. Sie werden im Körper transportiert, lagern sich in Organen an und werden wieder ausgeschieden. Die Aufnahme in den Körper erfolgt über die Atemwege (Inhalation), den Verdauungstrakt (Ingestion) oder durch kontaminierte Wunden (Invulneration). In medizinischen Anwendungen wird die Aktivität auch direkt ins Blut gespritzt (Injektion). Der Transport im Körper erfolgt im wesentlichen über das Blutplasma und das extrazelluläre Wasser (sog. Transferkompartiment), die Ausscheidung über Urin und Stuhl bzw. zu geringen Anteilen auch über Exhalation und Schweiß. Zur Beschreibung des Stoffwechsels verschiedener Elemente und Verbindungen werden biokinetische Modelle im Kompartimentformalismus verwendet. Diese unterteilen den Körper in Untereinheiten (Kompartimente), zwischen denen der Stoff transportiert wird. Kompartimente können Gewebe oder Gewebegruppen (z. B. Weichteilgewebe), einzelne Organe (z. B. Gonaden) oder Organanteile (z. B. Knochenoberfläche) sein. Mathematisch werden die Kompartimentsysteme durch Differentialgleichungssysteme beschrieben. Die Struktur des Modells beschreibt die möglichen Stoffwechselpfade für den betrachteten Stoff. Die Rate, mit welcher der Transport des Stoffes zwischen den einzelnen Kompartimenten erfolgt, ist (bei angenommener linearer Kinetik) zum Inhalt des abgebenden Kompartiments proportional. Die Transfergeschwindigkeit wird durch den sog. Transferkoeffizienten bestimmt. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) veröffentlicht solche systemischen Modelle und ihre Parameter für verschiedene Nuklide/Verbindungen. Zusätzlich gibt es generische Modelle für den Atemtrakt , den Verdauungstrakt und Wunden die für alle Nuklide gleichermaßen gelten. Aus den Differentialgleichungen der Modelle können die zeitlichen Verläufe der Ausscheidung des Radionuklids oder die Anreicherung in einzelnen Organen (Retentionsfunktionen) berechnet werden. Durch den Vergleich tatsächlichen Ausscheidungsverläufe bzw. Retentionsfunktionen mit den Modellösungen, kann aus Messwerten der Ausscheidungen bzw. Direktmessungen der Organaktivität die Aktivität der in den Körper aufgenommenen Radionuklide und die daraus folgende Strahlendosis abgeschätzt werden. In der HS werden im Rahmen von Forschungsprojekte hauptsächlich Modelle für Plutonium und Transurane unter folgenden Aspekten betrachtet:

- Modellierung der Dekorporationstherapie
- Physiologische Basis der Modelle
- Untersuchung der statistische Eigenschaften der Stoffwechselmodelle

6.4.2.1 Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporationen von Plutonium und anderen Transuranen

B. Breustedt, J. Schimmelpfeng

Dekorporationstherapie

Mit geeigneten Medikamenten kann die Ausscheidung eines Radionuklids beschleunigt werden. Dadurch kann ein Teil der erwarteten Strahlendosis nach Inkorporation vermieden werden, d. h. die Strahlenexposition wird reduziert. Die Beschleunigung der Radionuklidausscheidung erfolgt durch eine chemische Komplexierung (Chelatbildung) mit einer Verbindung, die aufgrund ihrer guten Löslichkeit schnell ausgeschieden wird. Für die Dekorporation von Plutonium und Transuranen zeigte sich **D**iethylen-**T**riamin-**P**enta-**A**cetat (DTPA) als wichtigster Chelatbildner.

DTPA wird üblicherweise in Form des Ca- bzw. Zn-Salzes in isotonischer Lösung infundiert. Im Körper bildet DTPA mit verschiedenen Metallen Chelate und verteilt sich im extrazellulären Raum, da auf Grund der negativen Ladungen und der hydrophilen Natur Chelate die Zellmembranen nicht aktiv durchdringen können [Vol78]. Hinweise auf eine Aufnahme signifikanter

DTPA-Mengen in den Intrazellularraum liegen nicht vor. Am Tag nach der DTPA-Infusion ist eine deutliche Erhöhung der mit dem Urin ausgeschiedene Aktivität der inkorporierten Radionuklide zu beobachten. Im Urin liegt diese für ^{239}Pu bei einem Faktor von ca. 40-120, im Stuhl bei einem Faktor von ca. 10 [Vol78]. Obwohl bekannt ist, dass der überwiegende Teil (>99 %) des applizierten DTPA bereits nach einem Tag aus dem Körper ausgeschieden wurden, ist die Überhöhung der Ausscheidung der Transurane über einige Tage hin zu beobachten. Man spricht vom „Nachklangeffekt“. Die folgende Abbildung zeigt die gemessene Ausscheidungsüberhöhung nach der DTPA-Therapie in einem Wundinkorporationsfall.

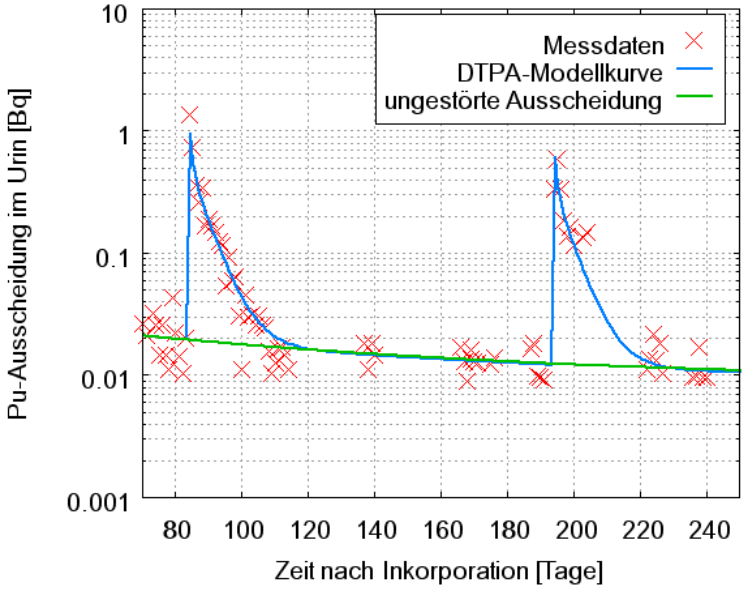


Abb. 6-73: Zum “Nachklangeffekt” der DTPA-Wirkung, die DTPA-Gaben erfolgten an den Tagen 83 und 193

Modellierung der Dekorporationstherapie

Für die Ermittlung der Strahlenexposition nach Inkorporation von Transuranen wird deren Ausscheidung über den Urin und/oder Stuhl überwacht. Die Vorhersagen der biokinetischen Modelle werden mit den beobachteten Ausscheidungsverläufen verglichen um die aufgenommene Aktivität und die daraus resultierende Dosis zu ermitteln. Für die ungestörte Plutoniumbiokinetik existieren eine Reihe von gut validierten Modellen. Die Ausscheidungsüberhöhung stellt eine Störung dar, die von den bislang angewandten Modellen nicht beschrieben werden kann. Im FZK wurde von HS und MED im Rahmen eines durch das Land Baden-Württemberg geförderten Kompetenzerhaltprogramms 2005 die Arbeit an einem Modell, welches den Effekt der DTPA Gabe auf die Biokinetik der Transurane beschreiben kann, begonnen. Im Rahmen dieses Projektes wurden Informationen zu und Messdaten der im Forschungszentrum durchgeführten Dekorporationstherapien mit DTPA gesammelt und in einer anonymisierten Datenbank zusammengetragen. Insgesamt wurden im Zeitraum von 1971 bis 2003 insgesamt 50 Personen mit 190 DTPA-Dosen behandelt. Zn-DTPA wurde 106 mal, Ca-DTPA 84 mal gegeben. Es wurden 5 Aerosolanwendungen, 17 Injektionen und 168 Infusionen vorgenommen. Der überwiegende Anteil der behandelten Inkorporationen waren Inhalationen (76,8 %) gefolgt von Aufnahmen über die Haut durch Wunden bzw. Kontaminierte Haut (13,1 %) und Ingestionen (5 %). Bei 7,1 % der Fälle konnte aus der (aus Sicht des Modellierers) unvollständigen Dokumentation älterer Fälle der Zufuhrpfad nicht eindeutig bestimmt werden. Für die Modellierung wurden zwei Ansätze verfolgt.

- *Empirische Modellierung*

Es werden lediglich die Zeitverläufe der Ausscheidungsraten betrachtet und mathematisch modifiziert, um die Wirkung des DTPA zu berücksichtigen.

- *Kompartimentformalismus*

In einem vorhandenen Kompartimentmodell werden Strukturen und Raten verändert um die Wirkung des DTPA zu beschreiben.

Mit einer empirischen Modellierung können nur Informationen über die durch die Therapie zusätzlich ausgeschiedene Menge des Radionuklids gewonnen werden. Aussagen über die Dosisreduktion in einzelnen Organen können nur auf Basis von Kompartimentmodellen getroffen werden. Die Ergebnisse beider Ansätze wurden im Abschlussbericht des Projektes [Bre08] ausführlich beschrieben. Eines der „direkten" Ergebnisse ist die für die Anwendung des empirischen Modells entwickelte Software. Mit diesem Hilfsmittel lassen sich Daten über die Ausscheidung mit dem Urin nach einer DTPA-Therapie interpretieren.

Ein grundsätzliches Interesse an der Modellierung der Dekorporationstherapie besteht insbesondere im europäischen Ausland. Da die Fragestellung „Beschreibung der Dekorporationswirkung von DTPA" ein sehr komplexes Problem mit vielen miteinander verbundenen Einzelaspekten wurden die Arbeiten am Kompartimentformalismus seit 2007 gemeinsam mit europäischen Experten durchgeführt. Dies geschah zunächst im Rahmen des CONRAD-Netzwerkes (A COordinated Network on RAiation Doismetry) und wird seit 2008 als feste Arbeitsgruppe der EURDAOS Gruppe (EUropean RAdiation DOSimetry Group) fortgesetzt. Die Arbeiten der CONRAD Gruppe zur Modellierung der Dekorporationstherapie wurden im Abschlussbericht des CONRAD Projektes [Lop08] ausführlich dargestellt. Eine Beschreibung der bislang erarbeiteten Modellstruktur wurde zu Veröffentlichung im Fachjournal Radiation Protection Dosimetry [Bre09] eingereicht.

Das CONRAD/EURADOS-Modell basiert auf dem Modell für die ungestörte Biokinetik des Plutoniums von Leggett und Mitarbeitern [Leg05], welches 2005 veröffentlicht wurde. Dieses wird verknüpft mit dem Modell für die Biokinetik von „reiner" DTPA, welches 1983 von Stather und Mitarbeitern [Sta83] basierend auf Experimenten mit ^{14}C-markierter DTPA entwickelt wurde. Beide Modelle werden durch eine explizite mathematische Berücksichtigung der Chelationsreaktion verknüpft. Bildlich gesprochen entnimmt die Chelationsreaktion Material aus den beiden Systemen und bringt dieses in ein drittes unabhängiges System. Mit dem Modellansatz wurden erste Rechnungen durchgeführt. Durch Anpassung an reale Falldaten sollen Modellstruktur und Parameter weiterentwickelt werden. Nach einer physiologische Analyse der ^{14}C-DTPA-Daten von Stather wurde eine neue physiologisch begründete Modellstruktur für die Biokinetik der „reinen" DTPA entwickelt. Diese soll in der weiteren Entwicklung des Modells die bislang verwendete Stather-Struktur ersetzen. Im Abschlussbericht des CONRAD Projektes [Lop08] fasst die Gruppe ihre Ergebnisse zusammen:

> „Wir haben uns langsam an den Mechanismus der Dekorporationstherapie herangearbeitet, sind aber noch weit von einem vollständigen Verständnis entfernt. Der CONRAD-Ansatz erweist sich als aussichtsreich bei der Entwicklung eines generischen Modells für eine Dekorporationstherapie. Die Gruppe hat zahlreiche Fragen untersucht und diskutiert. Ein großer Vorteil ergab sich daraus, dass die Mitglieder der Gruppe aus unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen kamen (z. B. Biologie, Physik, Medizin, Toxikologie) und ihre verschiedenen Sichtweisen und Erfahrungen in die Diskussion einbringen konnten. Allerdings stieß die Gruppe bei den meisten behandelten Problemen auf weitere offene Fragen statt auf direkte Antworten auf die ursprünglich gestellte Frage. Es sind weitere Forschungsanstrengungen notwendig, wenn man die Dekorporation durch DTPA verstehen, beschreiben/modellieren und optimieren will. Vor allem ist eine Reihe von genau geplanten Tierversuchen notwendig. Die Gruppe möchte diese wichtigen Arbeiten auch über den Rahmen des CONRAD-Projekts hinaus fortführen." (Übersetzt aus [Lop08])

Die Arbeiten an der biokinetischen Modellierung der Dekorporationstherapie werden auch 2009 in Zusammenarbeit mit den europäischen Kollegen (im Rahmen einer permanenten EURADOS

Arbeitsgruppe) fortgesetzt. Darüberhinaus ist geplant die im Rahmen des FZK-Projektes entwickelte Software für die Anwendung des empirischen Modells zu erweitern.

6.4.2.2 Physiologie basierte biokinetische Modellierung für Plutonium

Jutta Schimmelpfeng

Die Physiologie ist die Lehre von der Funktionsweise der lebenden Organismen und basiert auf der Lehre der Anatomie, der (Bio-) Chemie und der (Bio-) Physik [Sch00]. Die Biokinetik ist ein erweiterter Bereich der kinetischen Analyse, der sich mit Bestandteilen des lebenden Organismus beschäftigt. Ein biokinetischer Ansatz beschreibt quantitativ die zeitliche Veränderung der Verteilung von Stoffen im Körper infolge biologischer Prozesse. Dabei werden die Prozesse für die aufgenommenen Substanzen in Lebewesen (Pflanze, Tier/Mensch) mit mathematischen Algorithmen von der Aufnahme bis zur Ausscheidung beschrieben und modelliert. Arten der Modellierung sind die empirische Modellierung oder der Kompartimentformalismus. Bei der empirischen Modellierung werden nur die Zeitverläufe der Ausscheidungsraten betrachtet und mit einem Algorithmus wiedergegeben. In Kompartimentmodellen wird die Verteilung einer Substanz in separaten Räumen oder Strukturen im Körper von der Aufnahme bis zur Ausscheidung mit ihren verschiedenen Transferraten simuliert. Die Biokinetik radioaktiver Substanzen wurde viele Jahre unter rein mathematischen Gesichtspunkten berechnet. In den letzten Jahren ergab sich zunehmend der Bedarf die Abläufe in realistischen Strukturen des Körpers mit physiologischen Transferraten zu modellieren. Ähnliches geschah auch im Bereich der Pharmakokinetik. Pharmakokinetische Kompartimente entsprachen in den meisten Fällen keinen anatomisch definierten Verteilungsräumen im Organismus [Mut01], es handelte sich um operationale Größen.

Aus diesem Grund wurden physiologisch realistischere kinetische Modelle entwickelt, sog. physiologische pharmakokinetische Modelle, bei denen anatomische, physiologische und physikochemische Parameter in die Betrachtungen mit einbezogen werden [Mut01]. Ein physiologisches pharmakokinetisches Modell besteht aus einer Reihe von hinter- oder nebeneinander geschalteten Kompartimenten (Organe, Körperregionen), die reine Verteilungsräume darstellen oder zusätzlich Eliminationsfunktionen erfüllen können. Unter der Annahme, dass sich der Arzneistoff in jedem Kompartiment schnell und gleichmäßig verteilt, bestimmt der Blutfluss durch die Organe und die jeweilige Extraktionsrate den Konzentrations-Zeit-Verlauf in den einzelnen Kompartimenten. Der Vorteil physiologischer pharmakokinetischer Modelle besteht in einer besseren Übertragbarkeit der Ergebnisse von Tierversuchen auf den Menschen im Rahmen der Arzneistoffentwicklung [Mut01]. Darüber hinaus erlauben solche Modelle auch den Einfluss einer eingeschränkten Organfunktion genauer vorherzusagen.

Zur Entwicklung eines physiologischen biokinetischen Modells für eine radioaktive Substanz wie Plutonium sind verschiedene Ansätze einzeln oder auch in Kombination möglich:

- Abschätzung der biokinetischen Abläufe nach Inkorporation von Plutonium analog der Bio- oder Pharmakokinetik einer Substanz mit einem vergleichbaren chemischen und physiologischen Verhalten im Körper
- Vergleich und Optimierung eines vorhandenen biokinetischen Modells unter physiologischen Gesichtspunkten
- Erstellung eines physiologischen biokinetischen Modells, ausgehend vom zentralen Kompartiment unter Einbeziehung physiologischer Fakten und Transferraten

Die Güte der resultierenden Modelle hängt davon ab, wie genau deren Annahmen die Realität wiedergeben. Im Idealfall ergeben alle drei Ansätze eine ähnliche, bzw. dieselbe Kompartimentstruktur in einem die Realität wiedergebenden biokinetischen Modell.

Abschätzung der biokinetischen Abläufe nach Inkorporation von Plutonium analog der Pharmakokinetik einer Substanz mit einem vergleichbaren chemischen und physiologischen Verhalten im Körper

Plutonium gehört zu den radiotoxischsten Isotopen. Bei der Freisetzung durch Kernexplosionen oder nach Reaktorunfällen tritt Plutonium meist in oxidischer Form an kleinste Festkörperpartikel gebunden auf und wird in Kontakt mit Wasser langsam als Hydroxid (kolloidal) gelöst. Eine besondere Rolle kommt komplexbildendem und damit lösendem Carbonat zu [Tay98, Kai05]. Plutonium-kontaminierte Partikel werden über die Lunge resorbiert, und bereits dort kann es durch Strahlenschädigung zur Ausbildung von Tumoren kommen. Durch langsame Auflösung gelangt dieses Metall über sonst dem Eisen vorbehaltene Transportwege vor allem zu Leber und Knochengewebe, wo es nur sehr langsam zu entfernen ist. Von der resorbierten Plutoniummenge wurden nach einem Fallout etwa 45 % im Skelett, ca. 30 % in der Leber deponiert und ca. 10 % ausgeschieden oder im übrigen Gewebe verteilt [Sch96].

Annahme 1: Plutonium kann durch Injektion, Ingestion, Wunde (Invulneration) oder Inhalation in den Körper aufgenommen werden. Es verteilt sich im Fallbeispiel USTUR Case 0679 [UST07] im Wesentlichen auf die Lunge bei Inhalation, das Blut, die Knochen, die Leber, Lymphknoten und Weichteilgewebe, wie z.B. die Muskeln und das Bindegewebe.

Annahme 2: Plutonium kommt in Verbindungen in den Oxidationsstufen +III bis +VII vor. In Säugetierflüssigkeiten wie Blutplasma, Lungenflüssigkeit, Gallensaft, Urin und in Gewebeflüssigkeiten dominiert Pu(IV), weil die meisten endogenen Liganden diesen oxidativen Zustand stabilisieren [ICRP48].

Annahme 3: Die Ähnlichkeiten zwischen den chemischen und biologischen Transport- und Verteilungseigenschaften von Fe(III) und Pu(IV) sind bemerkenswert [Dur06, Ans07].

Die Chemie vierwertiger Plutoniumionen weist eine starke Analogie zu der dreiwertiger Eisenionen auf. Die Analogie zwischen beiden tritt deutlich zutage, wenn log-K1-Werte zur Beschreibung der Wechselwirkung zwischen verschiedenen Chelatbildnern und beiden Elementen mit einer Korrelation von fast 1:1 aufgetragen werden [Ans07]. Zwar besitzt das Plutonium-Redoxpaar eine höhere positive Ladung als das Eisen-Redoxpaar, dies wird jedoch durch die größeren Ionenradien bei diesem Aktinidenelement ausgeglichen, so dass unter Berücksichtigung des Verhältnisses Ladung/Radius eine recht gute Übereinstimmung resultiert [Kai05]. Dies gilt umso mehr, als die Redoxpotentiale beider Paare vergleichbar liegen.

Plutonium wird ähnlich wie Eisen im Körper transportiert. Eisen wird mit der Nahrung aufgenommen, gelangt über den Darm in das Blutplasma und wird über die Blutbahn im Körper verteilt. Transferrin, das für den Eisentransport verantwortliche Protein, bringt Eisen in Form eines Eisen-Transferrin-Komplexes an das Knochenmark, die Leber und die Milz [Sch75]. Eisen wird in Mukosazellen, Leber, Milz und im Knochenmark als löslicher Komplex mit Ferritin gespeichert, der rasch mobilisiert werden kann. Der Hauptanteil des Eisens im Körper wird zur Hämoglobin-Synthese beim Erythrozytenzerfall verwendet [Mut01]. Rote Blutzellen [Ste68] und Knochen gelten auch als von Plutonium bevorzugte Oberflächen [Sch96]. Erythrozyten werden beim Erwachsenen im roten Knochenmark gebildet und in der Milz abgebaut.

Annahme 4: Zwischen Fe3+ und Al3+ (Aluminium) Ionen besteht eine chemische Ähnlichkeit in Bezug auf ein äquivalentes Bindungsverhalten aufgrund ähnlicher Ionenradien [Mar86]. Deswegen und wegen der Analogien zwischen Fe3+ und Pu4+ kann ein ähnliches chemisches und physiologisches Verhalten von Al3+ und Pu4+ im Körper angenommen werden.

Analogien auf der Grundlage chemischer Ähnlichkeiten (hier zwischen Pu4+, Fe3+ und Al3+) sind bei Modellentwicklungen sehr nützlich. Im Fall von Aluminium kann auf einen großen Pool mit experimentellen Messdaten zu Blut- und Gewebewerten zurückgegriffen werden. Entsprechende Messwerte sind für Plutonium nicht im gleichen Umfang verfügbar.

Annahme 5: Wesentliche Reaktionspartner von Aluminium sind Transferrin und Citrat im Blut [Bar90, Day94] und in der extrazellulären Flüssigkeit [Nol01]. Dies gilt auch für Plutonium [Bel59, Tur68, Tay98] an Stelle von Aluminium.

Transferrin ist ein Glykoprotein und das Transportprotein im Körper für Eisen. Es wird in der Leber gebildet [Psc02]. Erst durch die Bindung von Eisen an Transferrin ist eine bevorzugte Aufnahme von Eisen in die eisenverwertenden Zellen möglich, da diese über entsprechende Transferrin-Rezeptoren verfügen [Mut01]. Etwa ein Drittel des Transferrin liegt im Blutplasma eisengesättigt als Eisentransferrin vor.

Citrate sind Salze der Zitronensäure [Psy02]. Das Citratanion wird im Citronensäurezyklus in den Mitochondrien von Körperzellen gebildet [Kar77] und ist im Stoffwechsel der Kohlenhydrate, Proteine und Fette im Körper wichtig. Im Urin ausgeschiedenes Citrat stammt aus diesem Stoffwechsel (Citratzyklus) oder wurde mit der Nahrung aufgenommen.

Das pharmakokinetische Modell für Aluminium ist in Abb. 6-74 dargestellt. Im offenen Kompartimentmodell zur Biokinetik von Aluminium [Nol01] besteht das zentrale Kompartiment aus Transferrin (T) und Zitrat- (C) gebundenem Aluminium in Plasma (P) und der interstitiellen Flüssigkeit (I) der Zwischenräume, PT, PC, IT und IC. Aus diesen verteilt sich das Aluminium in die peripheren Kompartimente P1 (Leber und Milz), P2 (Muskeln) und P3 (Knochen). Der Magen-Darm-Kanal wird in Magen (M), in Zwölffingerdarm (D) und in den übrigen Verdauungstrakt (R) unterteilt. Der Transport zwischen den Kompartimentfächern wird durch Ratenkonstanten beschrieben, die umgekehrte Zeitkonstanten sind. Die Zeitkonstanten sind an die Pfeile geschrieben, die den Transport beschreiben. Die Urin-Ausscheidungszeit ist T_U.

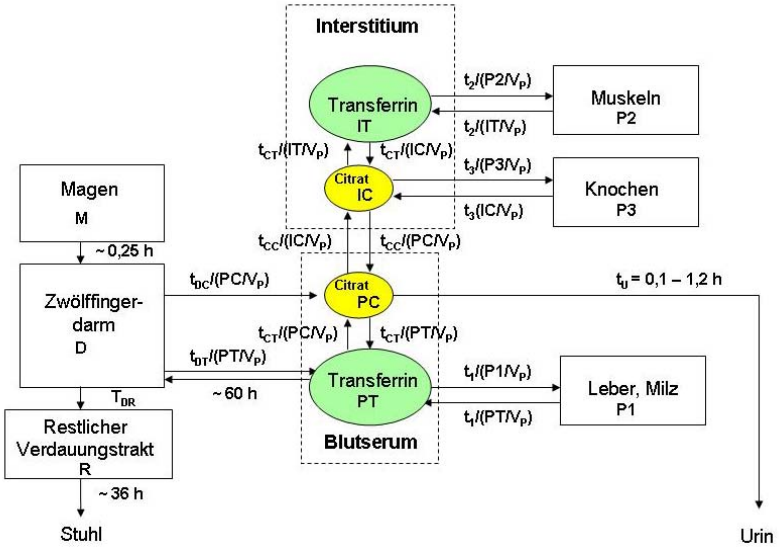


Abb. 6-74: Pharmakokinetisches Kompartimentmodell für Aluminium modifiziert nach [Nol01] zur analogen Abschätzung der Abläufe nach Inkorporation von Plutonium

Im pharmakokinetischen Modell für Aluminium (Abb. 6-74) konnten die den Austausch zwischen den peripheren und dem zentralen Kompartiment beschreibenden Parameter durch experimentelle Studien in einem engen Bereich festgelegt werden. Nach intravenöser Injektion von ^{26}Al fand ein schneller Austausch mit der interstitiellen Flüssigkeit über den citrat-gebundenen Anteil statt. Der ^{26}Al-Gehalt des Interstitiums spiegelte sich im Muskelwert der ersten Stunde wider. Der Tranferrin-Citrat-Parameter t_{CT} konnte z. B. durch Speziationsstudien mit Al-Citrat ermittelt werden. In dem Modell wurden drei periphere Kompartimente definiert, Knochen, Muskeln und innere Organe wie Leber und Milz. Sie tauschen Aluminium mit dem zentralen

Kompartiment aus, wie es in Abb. 6-74 gezeigt ist. Dieser Ansatz war zunächst hypothetisch und wurde durch Vergleich der resultierenden Rechnungen mit den Messwerten in den Geweben bestätigt.

Das pharmakokinetische Modell für Aluminium kann die Biokinetik von Plutonium allerdings nicht in allen Punkten realistisch wiedergeben. So wird z. B. Plutonium im Blut stärker an Proteine gebunden, als Aluminium und neigt dazu im Körper eher re-deponiert, als ausgeschieden zu werden [Pri04]. Die effektive Halbwertszeit von Plutonium im Skelett beträgt typischerweise ca. 50 Jahren. Aluminium hat eine kürzere Halbwertszeit von 10-20 Jahren, es bindet schwächer an Proteine im Blut als Plutonium und wird daher effektiver durch die Niere filtriert und ausgeschieden. Unterschiede bestehen auch hinsichtlich der rascheren Freisetzung von Aluminium (Al^{3+}) gegenüber Fe^{3+} durch Transferrin [Mar91].

Vergleich eines biokinetischen Kompartimentmodells Modells für Plutonium mit dem pharmakokinetischen Modell für Aluminium

Ein Vergleich des biokinetischen Modells für Plutonium [Leg05] mit dem pharmakokinetischen Modell für Aluminium [Nol01] ergibt auf den ersten Blick eine große Ähnlichkeiten im Aufbau der Kompartimentstrukturen den beiden biokinetischen Modelle.

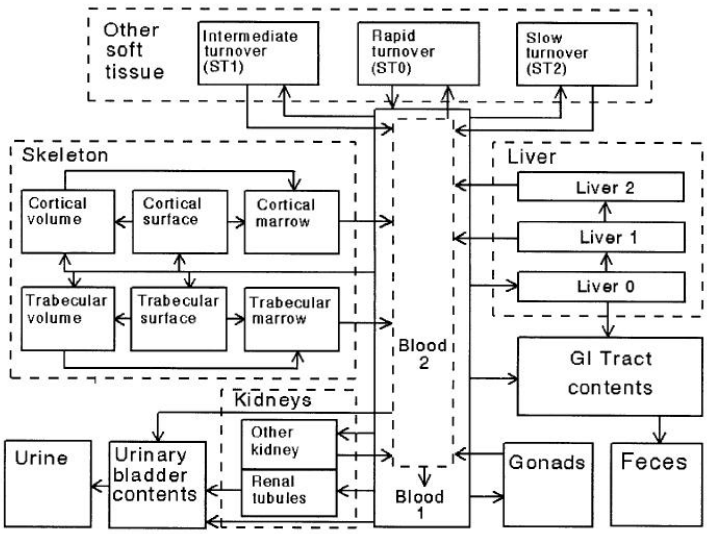


Abb. 6-75: Biokinetisches Kompartimentmodell für Plutonium (mit freundlicher Genehmigung der Radiation Research Society und von Dr. R. W. Leggett)

Gemeinsamkeiten:

- Das biokinetische Kompartimentmodell für Plutonium (Abb. 6-75) geht vom Einbringen von Plutonium via Absorption oder Injektion ins Blut aus [Leg05]. Das Plutonium verteilt sich danach schnell auf Blut 1 (Blood 1) und Blut 2 (Blood 2). Diese beiden Blut-Kompartimente haben im biokinetischen Modell keine evidente physiologische Basis. Sie repräsentieren zwei theoretisch verschiedene Formen von Plutonium in Blut mit verschiedenen Urin-Ausscheidungsraten (persönliche Mitteilung von R.W. Leggett). Im biokinetischen Modell für Aluminium (Abb. 6-74) verteilt sich oral oder intravenös appliziertes Aluminium auf zwei zentrale Kompartimente, das Blut-Serum und das benachbarte Interstitium. In jedem dieser beiden Kompartimente befinden sich zwei verschiedene Formen von Aluminium. Physiologisch gesehen befindet sich Aluminium in einer Art chemischem Gleichgewicht als Komplex mit Citrat, einem niedermolekularen Molekül, sowie mit Transferrin, einem hochmolekularen Molekül [Pri04].

- Im biokinetischen Modell für Plutonium gibt es wie beim Aluminiummodell Transfers von Blut 1 (es entspricht daher physiologisch dem Blutserum) zu den die Knochen (30 % des injizierten Plutoniums), in die Leber (60 % der Aktivität), den Verdauungstrakt, in die Weichgewebe (other soft tissues ST1 und 2) und in die Blase - hier führt der Transfer zur Blase von Blut 1 durch die Niere. Ein weiterer Transfer führt von Blut 2 direkt zur Blase. Wörtlich heisst es „3,5 % des Blut 2 verlassenden Plutoniums („recycled plutonium") gelangen direkt zum Blaseninhalt." [Leg05]. Diese unphysiologisch erscheinende Annahme ist als Vereinfachung des Modells möglich, wenn die physiologischen Transferraten vom Blut in die Niere und von der Niere in die Blase annähernd gleich sind. Im pharmakokinetischen Modell für Aluminium ist dies sogar noch stärker vereinfacht dargestellt. Der Transfer aus dem Blut in den Urin kommt mit nur einer Transferrate aus [Nol01]. In beiden Modellen besteht außerdem eine Transfermöglichkeit aus dem Blut (Blut-Serum, bzw. Blut 1) in den Verdauungstrakt und damit die Möglichkeit der Ausscheidung der Metalle aus dem Körper durch den Stuhl (Feces).
- Die Kompartimente Blut 1, Blut 2 und ST0 sind Teil der extrazellulären Flüssigkeit oder mit Leggetts Worten „Plutonium in Zirkulation" [Leg05]. Das Weichgewebe ST0 (rapid-turnover soft tissues) könnte die extravaskulare Flüssigkeit darstellen (persönliche Mitteilung von R.W. Leggett). Vaskular ist ein anatomischer Begriff und bedeutet Gefäß [Psc02]. Zirkulierendes Aluminium befindet sich in den Blutgefäßen im Blutserum. Es tritt daraus in das Interstitium aus. Das Interstitium ist physiologisch gesehen der Zwischenraum zwischen organtypischen Zellkomplexen, der Bindegewebe, Gefäße (Blut- und Lymphgefäße) und Nerven enthält [Psc02].

Unterschiede:

- Im biokinetischen Modell für Plutonium werden die Kompartimente Knochen und Leber aus dem Blut 1 „beliefert". Beim pharmakokinetischen Modell für Aluminium versorgt das Blut-Serum nur indirekt Muskeln und Knochen durch das Kompartiment Interstitium hindurch.
- Im biokinetischen Modell für Plutonium gibt es eine einseitige, direkte Transfermöglichkeit für Plutonium von der Leber in den Verdauungstrakt. Beim pharmakokinetischen Modell für Aluminium ist die Transfermöglichkeit für das Metall beidseitig und verläuft jeweils durch das Kompartiment Blut-Serum.
- Plutonium kann von Blut 1 (Blut-Serum) nach ST1 oder ST2 (Weichgewebe mit mittlerem oder langsamem Umsatz) übertragen werden [Leg05, Annahmen S. 114]. ST1 und ST2 könnten z.B. Muskeln sein, da zu Weichgeweben Bindegewebe, Muskeln, Nerven und Blutgefässe gehören. Von ST1 oder ST2 aus gelangt Plutonium in das Kompartiment Blut 2 (Interstitium?). Im pharmakokinetischen Modell jedoch gelangt das Metall auf seinem Hin- und Rückweg vom Blut-Serum durch das Kompartiment Interstitium in das Kompartiment Muskeln.
- Im Biokinetikmodell kann Plutonium via Blut 1 und Blut 2 durch die Blase in den Urin ausgeschieden werden. Im pharmakokinetischen Model für Aluminium gibt es nur einen Transferweg aus dem Blutserum in den Urin.
- Betrachtet man den Transfer zwischen den Elementen der extrazellulären Flüssigkeit/zirkulierendes Metall in beiden Modellen, so kann Aluminium direkt vom Blut in das Interstitium und wieder zurück transferiert werden. Bei Aluminium machen diese zwei Kompartimente die extrazelluläre Flüssigkeit aus. Bei Plutonium in Zirkulation werden drei Kompartimente benötigt. Plutonium gelangt von Blut 2 direkt zu Blut 1 oder zu ST0. Von Blut 1 kann es nur indirekt via ST0, ST1 oder ST2 (Weichgewebe) zurück zu Blut 2 transferiert werden.

Das biokinetische Modell für Plutonium (Abb. 6-74) ist in Bezug auf Leber und Knochen viel detailierter strukturiert, als das pharmakokinetische Modell für Aluminium (Abb. 6-75). Ein ähnlich detailiertes, biokinetisches Modell für Aluminium (Abb. 6-76) wurde 2003 an der Middlesex Universität (Queensway, Enfield, UK) entwickelt [Pri04]. Es basiert auf den Messdaten einer Person („subject P"), der mehr als 550 Bq ^{26}Al-citrat injiziert wurde. Die Person wurde danach für 10+Jahre in Folge mit Ganzkörper Gamma-Spektrometrie und radiochemischen Analysen der Ausscheidungen untersucht. Das aus diesen Messdaten entwickelte biokinetische Modell beinhaltet acht gewebeassoziierte Kompartimente, die ohne Kenntnis der Verteilung des Aluminiums im Körper von den „Kastenbeschreibern" (box descriptors) indikativ berücksichtigt wurden.

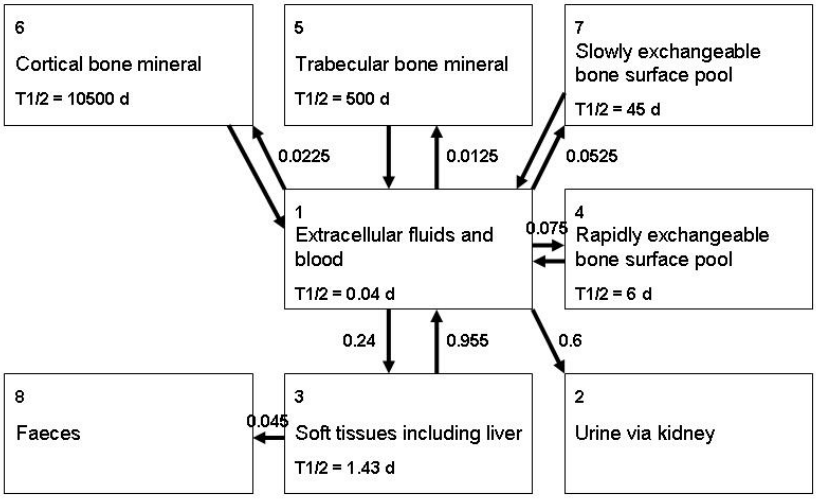


Abb. 6-76: Biokinetisches Kompartimentmodell für Aluminium modifiziert nach [Pri04

Es gibt in diesem biokinetischen Modell für Aluminium z. B. die Annahme, dass Aluminium ein knochensuchendes Metall ist, dass durch Ionenaustausch bei Knochenresorption/umbau wieder aus dem Skelett entfernt wird. Wie im biokinetischen Modell für Plutonium [Leg05] wurden hier verschiedene Knochenkompartimente mit unterschiedlichen Transferraten gebildet. Die Knochenoberfläche wurde mit einer Halbwertzeit T1/2 von 6 und 45 Tagen wiedergegeben, und zwischen kortikalem und trabekulärem Mineralanteil der Knochen unterschieden. Auch bei dieser Art Modellierung stellen Blut und extrazelluläre Flüssigkeiten das zentrale Element dar.

Mit den Messdaten von „subjekt P" konnten auch im pharmakokinetischen Modell valide Berechnungen der Konzentrationen von Aluminium im Blut und in Urin und Faeces erstellt werden. Im Gegensatz zum pharmakokinetischen Aluminiummodell [Nol01] konnten mit dem biokinetischen Middlesex Modell die Blutwerte von „subject P" nicht reproduziert werden. Dies lag zum einen an den Unsicherheiten (uncertainties), die die Kinetik des Aluminium-Transfers vom Blut in die Gewebeflüssigkeiten betrifft. Zum anderen scheint Aluminium im Blut seine Speziation zu ändern, was durch Änderungen der Aluminium-Ausscheidungsraten angedeutet wurde. Wenn weitere Daten vorliegen sollen im Middlesex Modell Kompartimente für Reaktionen mit „Erythrozyten" und für das „Gehirn" integriert werden. Weitere Modelle, wie das ICRP-Modell [ICRP30] für Aluminium und das biokinetische Modell für Plutonium von Luciani und Polig [Luc00] können mit den hier beschriebenen Modellen und Annahmen verglichen werden.

Erstellung eines physiologischen biokinetischen Modells für Plutonium, ausgehend vom zentralen Kompartiment unter Einbeziehung physiologischer Fakten und Transferraten

Die biokinetische Modellierung betrifft alle anatomischen, physiologischen und physikochemischen Parameter der wesentlichen Reaktionen von Plutonium im Körper. Sie beginnt mit der Definition der chemischen Exposition und der Wirkung von Belang, wie auch der Spezies und des Zielgewebes, in dem sie beobachtet wird. Die Bewertung vorhandener Literatur umfasst die

Integration von Informationen über die Art der zu modellierenden chemischen Substanz, den Mechanismus ihrer Wirkungen und die Wege des chemischen Metabolismus, Absorption, Transport und Ausscheidung, involvierte Gewebe-Aufteilung, verbindliche Merkmale der Substanz und ihrer Metaboliten, sowie die physiologischen Parameter (z. B. Gewebegewichte, Blutfluss- und Exkretionsraten) für die zu modellierende Substanz. Mit diesen Informationen wird das physiologische biokinetische Modell entwickelt, das mathematisch ein Konzept eines körperchemischen Systems ausdrückt. In diesem Modell werden die verschiedenen zeitabhängigen chemischen Transportprozesse und metabolischen Prozesse als System gleichzeitiger Differentialgleichungen beschrieben. Hypothesen können als biologische Prozesse beschrieben werden, quantitative Vorhersagen können auf der Grundlage der mathematischen Beschreibung gemacht werden und das hypothetische Modell kann auf der Grundlage des Vergleichs mit gezielten experimentellen Daten überarbeitet und verbessert werden.

Ein physiologisches Modell soll für die jeweilige Biokinetik relevante Abläufe in den verschiedenen Körperkreisläufen, Organen und Geweben wiedergeben. Das im biokinetischen Plutonium Modell dargestellte zentrale Kompartiment ist das Blut. Es gibt dort zwei Kompartimente, „Blood 1“ und „Blood 2“ mit unterschiedlichen Formen von Plutonium und verschiedenen Urin-Ausscheidungsraten. Aus physiologischer Sicht sind das Citrat-gebundenes und Transferrin-gebundenes Plutonium (siehe Abb. 6-74 – Blutserum). Ausgehend vom pharmakokinetischen Kompartimentmodell für Aluminium kann bereits ein Basismodell für die physiologische Biokinetik von Plutonium (Abb. 6-77) erstellt werden. Dieses Modell ist sehr einfach strukturiert und muss in Folge mit den experimentell ermittelten Daten für Plutonium von Mensch und Tier validiert werden.

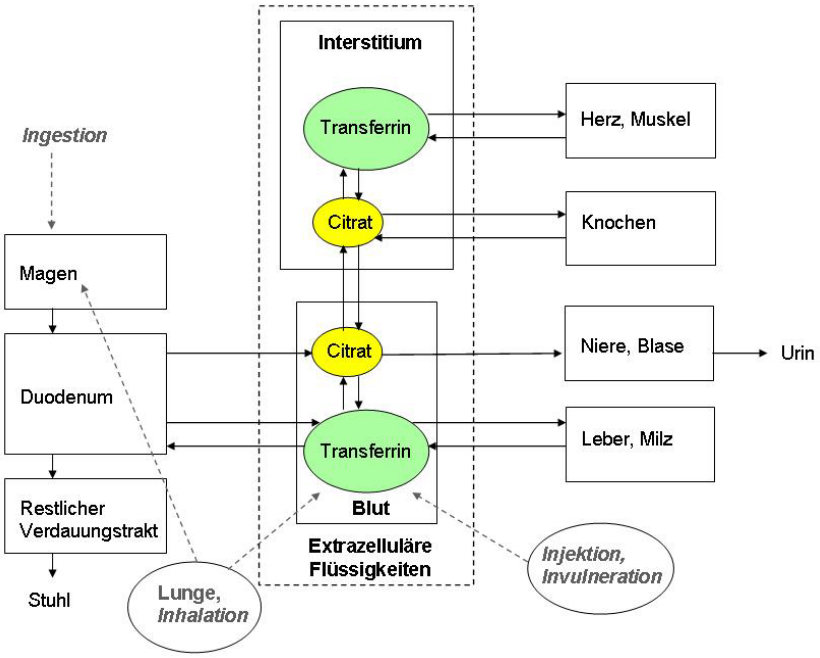


Abb. 6-77: Physiologisches Basis-Kompartimentmodell für die Biokinetik von Plutonium

Es können physiologisch sinnvolle und notwendige Ergänzung im Modell gemacht werden. Durch das Verständnis der physiologischen Vorgänge auf molekularer Ebene sollen die beteiligten Prozesse realitätsnah modelliert werden. Die Modellierung kann mit allen wesentlichen physiologischen Reaktionen in den Zielorganen und Geweben des menschlichen Körpers für die Anwendung im Strahlenschutz des Menschen ergänzt werden. Die Biokinetik wird für die interne Dosimetrie und für die Dosierung von Dekorporations-Therapeutika benötigt. Der menschliche Körper lässt sich im Baukastenprinzip (Organismus - Organsysteme - Organe - Gewebe - Zellen - Zellorganellen - Moleküle - Atome) modellieren. Seine Organsysteme aus Geweben,

Zellen und Molekülen werden über Körperkreisläufe (z. B. Blut- und Lymphsystem) miteinander verbunden und reguliert. Unter wissenschaftlichen Aspekten ist ein komplexes Modell, das alle relevanten Reaktionen im Körper bis zur molekularen Ebene modelliert sinnvoll. Für numerische Berechnungen sind einfachere Modelle wünschenswert.

Durch Vergleich der vorhandenen biokinetischen Modelle für Eisen, Aluminium und Plutonium und durch Einbeziehung der wissenschaftlichen Grundlagen zum Verhalten und der Verteilung von Plutonium, Aluminium und Eisen im Körper kann ein umfassendes physiologisches Kompartimentmodell für Plutonium formuliert werden.

Bevor ein solches physiologisches Biokinetikmodell für Risikobeurteilungen benutzt werden kann, muss es noch in Bezug auf die biokinetischen, metabolischen und toxikologischen Daten validiert werden [Cle08]. Das Modell kann häufig selbst bei der Entwicklung und dem Design kritischer Experimente verwendet werden, bei denen Daten für seine eigene Validierung gesammelt werden. Es bietet einen konzeptionellen Rahmen für den Einsatz wissenschaftlicher Methoden. In vielen Fällen ist eine Verfeinerung des Modells im Vergleich mit experimentellen Ergebnissen notwendig, bis es durch Vergleich von Simulation und experimentellen kinetischen Daten validiert ist.

6.4.2.3 Untersuchung des Einflusses inter-individueller Variation auf die Deposition von Plutonium in Skelett und Leber

W. Klein

Die Dosisberechnung nach der Aufnahme eines Radionuklids in den Körper (Inkorporation) basiert auf Aktivitätsbestimmungen (Bioassay) und biokinetischen Modellen. Handelt es sich bei dem Nuklid um Plutonium kann die abgegebene Strahlung wegen ihrer kurzen Reichweite nicht außerhalb des menschlichen Körpers gemessen werden. In diesem Fall müssen Messungen der mit dem Stuhl und Urin ausgeschiedenen Aktivität zur Dosisabschätzung herangezogen werden. In den aktuellen biokinetischen Modellen für Plutonium wird angenommen, dass sich die inkorporierte Aktivität primär in Skelett und Leber anreichert. Autopsiedaten zeigen eine breite inter-individuelle Streuung des Aktivitätsverhältnisses zwischen diesen beiden Hauptspeicherorganen. Dieses Verhältnis ist von großer Bedeutung für die Aktivitätsausscheidung und damit auch für die Dosisabschätzung. Daher wurde der Einfluss der inter-individuellen Variation und die Fähigkeit aktueller Modelle [ICRP67], [Luc00], [Leg05] diese Variationen zu reproduzieren untersucht.

Heutzutage ist eine größere Anzahl an Autopsiedaten über die Plutoniumbelastung von Leber und Skelett verfügbar. Im Gegensatz zu den absoluten Plutoniumdepositionen ist das Verhältnis zwischen den beiden Organen von der Gesamtaktivitätsaufnahme und dem Inkorporationspfad weitgehend unabhängig. Betrachtet man die Modelle so wird dieses Verhältnis anfangs von dem Verhältnis Transport vom Blut in die Leber zu dem vom Blut in die Knochen bestimmt. Erst später kommt die unterschiedliche strukturelle Zusammensetzung der beiden Organe in den verschiedenen Modellen zum Tragen. Das Verhältnis der Transportraten in Skelett und Leber ist bei der Erstellung von Plutoniummodellen von großer Wichtigkeit und wurde unter dem Namen „*partitioning factor*“ wie folgt definiert:

$$p_{Skel} = \frac{f_{Skel}}{f_{Skel} + f_{Liv}} = \frac{f_{Skel}}{f_{tot}} \Rightarrow p_{Skel} \in [0;1]$$

Wobei f_{Skel} die Summe der Transferraten in alle Skelett-, f_{Liv} in alle Leber- und f_{tot} in alle Skelett- und Leberkompartimente ist. Definitionsgemäß kann der *partitioning factor* p_{Skel} zwischen 0 und 1 schwanken. Da das Depositionsverhältnis sich mit der Zeit verändern kann und dann von den

Anfangswerten, die dem Transferratenverhältnis entsprechen, abweicht, kann eine allgemeinere zeitabhängige, auf die Deposition bezogene Formel aufgestellt werden:

$$p_{Skel}(t) = \frac{q_{Skel}(t)}{q_{Skel}(t) + f_{Liv}(t)} = \frac{q_{Skel}(t)}{q_{tot}(t)} \Rightarrow p_{Skel}(t) \in [0;1]$$
$$mit: t > 0$$

Wobei $q_i(t)$ der Plutoniumaktivität im Organ/Gewebe i zur Zeit t entspricht. Die Funktionswerte dieser allgemeineren Formel liegen ebenfalls zwischen 0 und 1. p_{Skel} existiert streng genommen zum Zeitpunkt der Zufuhr noch nicht, sondern erst nachdem der erste Stofftransfer in ein Leber- oder Skelettkompartiment stattgefunden hat.

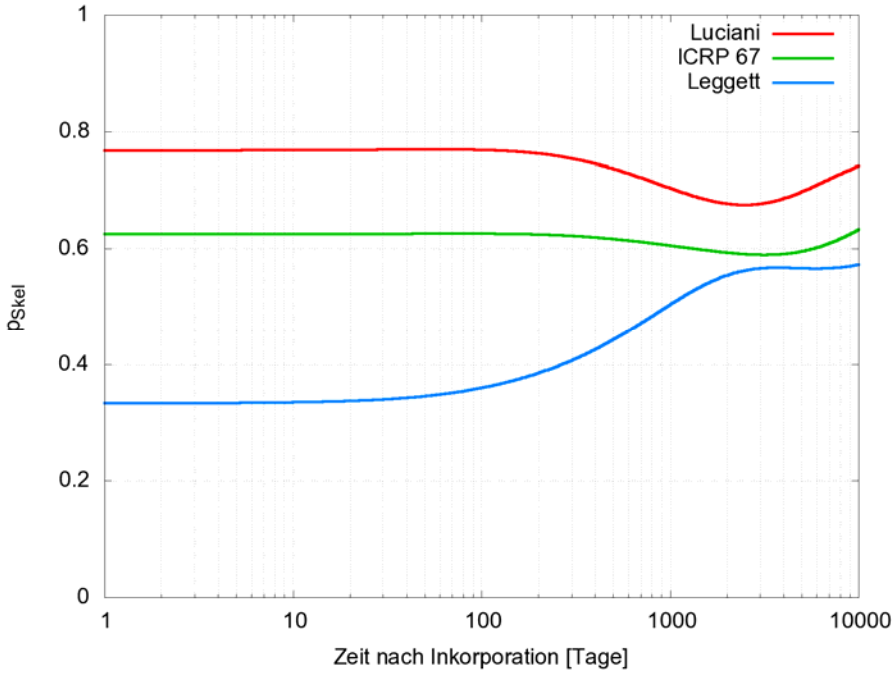


Abb. 6-78: pSkel(t) einiger aktueller biokinetischer Plutoniummodelle

Trotz der Wichtigkeit von $p_{Skel}(t)$ gibt es bei den aktuellen biokinetischen Modelle beträchtliche Unterschiede in diesem Wert (Abb. 1). Ein Grund dafür könnte die große individuelle Variation sein, die die Bestimmung eines allgemeingültigen Werts unmöglich macht. Der *partitioning factor* ist im ICRP 67 Modell [ICRP66], [ICRP67], [ICRP68], [ICRP69], [ICRP71] quasi zeitkonstant, während er in dem von Leggett [Leg05] vorgeschlagenen Modell eine starke Zeitabhängigkeit zeigt. Die Werte für $p_{Skel}(t)$ des Modells von Luciani [Luc00], [Luc01], liegen über den kompletten Zeitbereich über denen der beiden anderen Modelle. Tab. 6-15 zeigt die Anfangswerte und die Werte nach 10 000 Tagen der 3 untersuchten Modelle.

	ICRP 67	Luciani / Polig	Leggett et al.
$p_{Skel}(t \rightarrow 0)$	0.625	0.768	0.333
$p_{Skel}(t=10000)$	0.633	0.741	0.573

Tab. 6-15: Anfangs- und Langzeitwerte von pSkel einiger biokinetischer Modelle

Das Verteilungsverhältnis vom Blut in Leber und Skelett der Modelle kann verändert werden, ohne dass sich der Gesamtanteil der Aktivität ändert, die aus dem Blut in die beiden Organe fließt, d.h. f_{tot} kann konstant gehalten werden, während p_{Skel} variiert wird. Dies führt dazu, dass

der Transfer vom Blut in die anderen Organe nur indirekt über das unterschiedliche Rückhaltevermögen von Leber und Skelett und damit den unterschiedlichen Rückfluss ins Blut beeinflusst wird. Damit wird die Veränderung der Plutoniumretention der anderen Organe so gering wie möglich gehalten.

Wird der Wert für f_{tot} aus dem jeweiligen biokinetischen Modell übernommen, lassen sich die Verteilungsanteile aus dem Blut in Skelett und Leber für gegebene p_{Skel} wie folgt berechnen:

$$f_{Skel} = p_{Skel} \cdot f_{tot}$$
$$f_{Liv} = (1 - p_{Skel}) \cdot f_{tot}$$

Die aktuellen Plutoniummodelle entleeren das Blutkompartiment in nur 1 Leberkompartiment aber in bis zu 4 von 6 Skelettkompartimente. Der Anteil des in das Skelett transportierten Plutoniums teilt sich in die Fraktionen „resting cortical“ f_{rc}, „resting trabecular“ f_{rt}, „forming cortical“ f_{fc} und „forming trabecular“ f_{ft} auf.

$$f_{Skel} = f_{rc} + f_{rt} + f_{fc} + f_{ft}$$

Diese Fraktionen können wiederum mittels Faktoren (gxx) als Anteil des Gesamtverteilungsanteils in das Skelett (fSkel) dargestellt werden:

$$f_{rc} = g_{rc} \cdot f_{Skel}$$
$$f_{rt} = g_{rt} \cdot f_{Skel}$$
$$f_{fc} = g_{fc} \cdot f_{Skel}$$
$$f_{ft} = g_{ft} \cdot f_{Skel}$$
$$mit:$$
$$g_{rc} + g_{rt} + g_{fc} + g_{ft} = 1$$

Um die Verhältnisse der Plutoniumdeposition in den Knochenkompartimenten nicht zu verändern, müssen die Transferraten vom Blut in die Skelett- und Leberkompartimente für gegebene pSkel mit unveränderten g-Faktoren neu berechnet werden:

$$f_{rc} = g_{rc} \cdot p_{Skel} \cdot f_{tot}$$
$$f_{rt} = g_{rt} \cdot p_{Skel} \cdot f_{tot}$$
$$f_{fc} = g_{fc} \cdot p_{Skel} \cdot f_{tot}$$
$$f_{ft} = g_{ft} \cdot p_{Skel} \cdot f_{tot}$$
$$f_{Liv} = (1 - p_{Skel}) \cdot f_{tot}$$

Auswertung vorhandener Daten

Das Verhältnis der Plutoniumdeposition in Leber und Skelett muss über die Aktivitätsbestimmung von Gewebeproben ermittelt werden und kann daher nur nach dem Tod des kontaminierten Menschen mittels Autopsien durchgeführt werden. Inzwischen sind einige Daten veröffentlicht, die über detaillierte Autopsiestudien gewonnen wurden. Oft sind sowohl Informationen über die Deposition von 238Pu als auch 239Pu verfügbar [Kat88], [Kat04], teilweise für dieselbe Person. Obwohl in den aktuellen Standardmodellen nicht zwischen der Biokinetik verschiedener Isotope eines Elements unterschieden wird, gibt es Hinweise auf mögliche Abhängigkeiten von

dem speziellen Radioisotop. Zum Beispiel wurden Unterschiede bei der Plutoniumbelastung von Lunge, Leber und Skelett von Tieren festgestellt, die einem Aerosol mit 238PuO2 und 239PuO2 ausgesetzt wurden [Gui84], [Par97]. Daher wurde die verwendeten Autopsiedaten auf signifikante Unterschiede zwischen pSkel von 238Pu und 239Pu untersucht. Verschiedene statistische Tests [Sac04] wurden durchgeführt um Unterschiede zwischen den beiden Verteilungen zu verifizieren:

- Wilcoxon-Rang-Summen-Test
- Mann-Whitney U Test
- Siegel-Tukey-Test
- Student's T-Test
- Kruskal-Wallis Varianzanalyse
- F-Test
- Zweiseitiger Kolmogorov-Smirnov-Test

Keiner der angewendeten statistischen Tests zeigte signifikante Unterschiede der Verteilungen von pSkel für 238Pu und 239Pu. Daher können die zwei Datensätze als Stichprobe einer Grundgesamtheit aufgefasst werden und zu einem Datensatz mit höherer statistischer Aussagekraft vereint werden.

Statistische Verteilung von pSkel zum Zeitpunkt der Autopsie

Bei den meisten Personen die einer Autopsie unterzogen wurden und bei denen die Plutoniumbelastung von Leber und Skelett bestimmt wurde, steht der genaue Zeitpunkt der Inkorporation nicht fest. Der Zeitraum zwischen Inkorporation und Autopsie ist somit nicht exakt bestimmbar. Oft handelt es sich um wiederholte Kontaminationen oder chronische Kontaminationen über einen längeren Zeitraum, besonders zu Beginn ihres Arbeitslebens. Typischerweise liegen zwischen Zufuhr und Autopsie mehrere Jahrzehnte. Deshalb wurde ein realistischer Durchschnittswert von 10000 Tagen angenommen.

Um mögliche theoretische Verteilungen für p_{Skel} zu bestimmen, wurden die Daten mit verschiedenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen verglichen. χ^2-Tests verwerfen die Annahme, dass es sich bei den Daten um eine Stichprobe aus Gleich-, Dreieck- oder Lognormalverteilungen handelt. Über ihre Parameter angepasste Normal- und Betaverteilungen können jedoch nicht ausgeschlossen werden und kommen deshalb als mögliche Verteilungsformen für p_{Skel} in Betracht. Obwohl die Normalverteilung statistisch akzeptabel erscheint um die Verteilung der Daten zu beschreiben, ist sie aus mathematischer Sicht ungeeignet, da sie unbegrenzt ist, während p_{Skel} definitionsgemäß nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Im Gegensatz dazu sind Betaverteilungen auf ein beliebig wählbares Intervall begrenzt. Über ihre Parameter lassen sie sich sehr gut an die Daten anpassen.

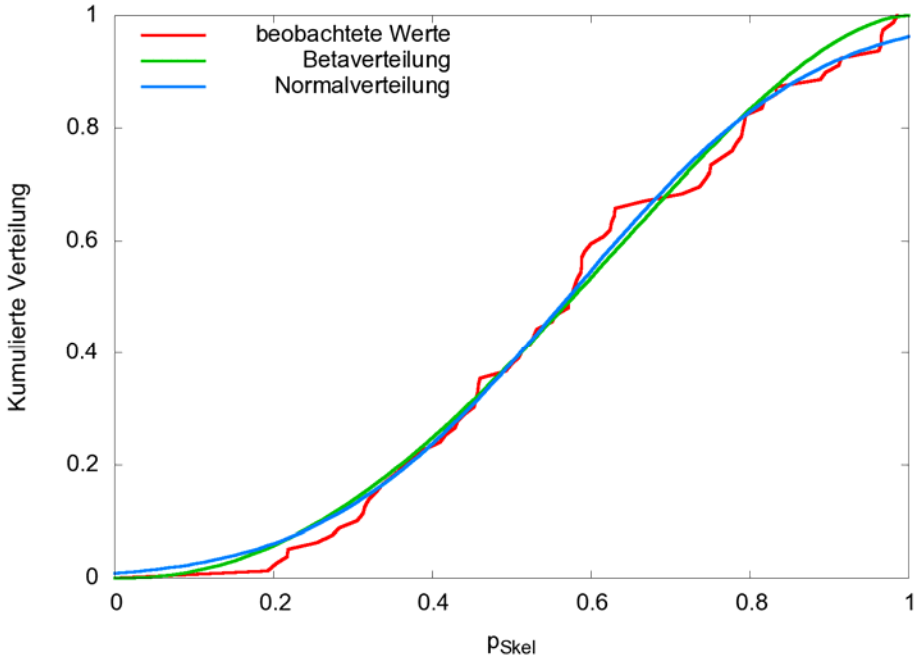


Abb. 6-79: Kumulative relative Häufigkeiten für pSkel der beobachteten Daten und Verteilungsfunktionen für angepasste Beta- und Normalverteilungen

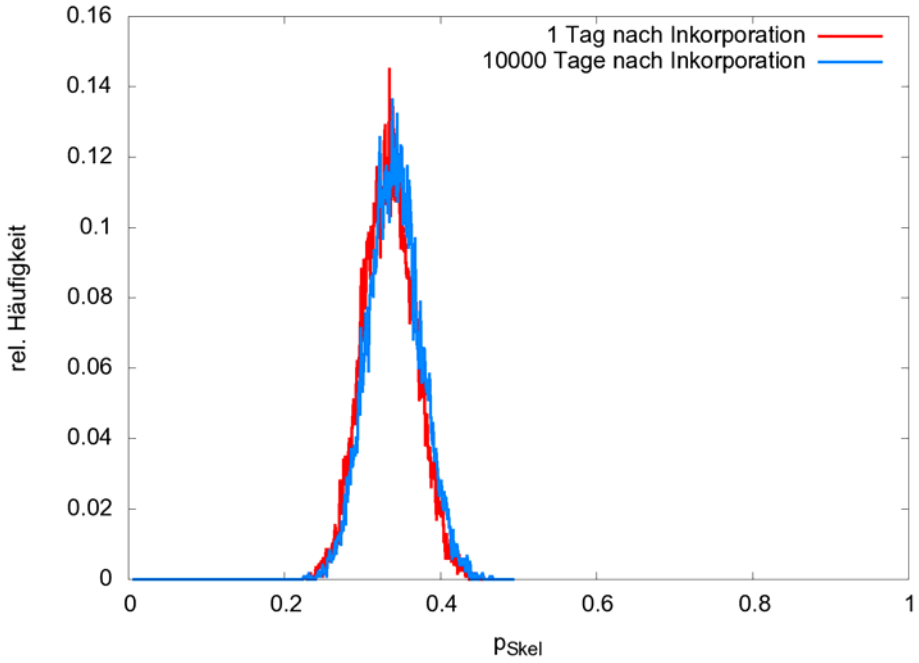


Abb. 6-80: Verteilungen der simulierten Werte von pSkel für das ICRP-Modell zu verschiedenen Zeiten

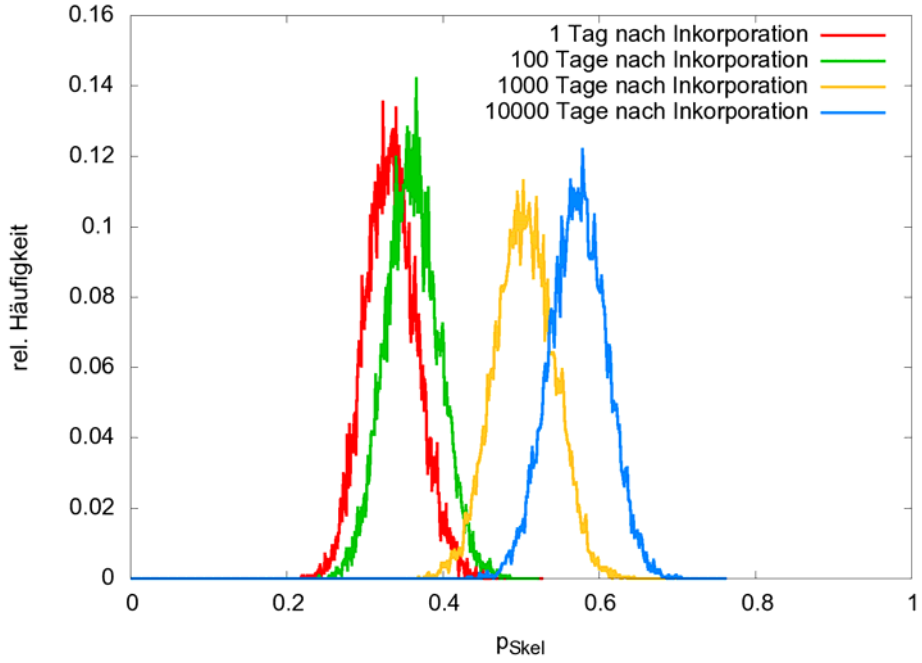


Abb. 6-81: Verteilungen der simulierten Werte von pSkel für das Leggett-Modell zu verschiedenen Zeiten

Monte-Carlo-Simulationen aktueller biokinetischer Modelle mit betaverteilten Transferratenverhältnis

Eine analytisch geschlossene Herleitung der Verteilung der Modellparameter aus den Depositionsverteilungen lässt sich nur für einfachste Modelle berechnen. Bei den verwendeten komplexen Modellen ist dies auf Grund des nicht-linearen funktionellen Zusammenhangs der Kompartimentinhalte mit den Transferraten nicht möglich. In einem ersten Ansatz wurde die für die langfristige Deposition beobachtete Betaverteilung dem Transferratenverhältnis in Monte Carlo Simulationen zugrunde gelegt. Bei diesen Simulationen stimmen die Verteilungen der simulierten Depositionsverhältnisse für kleine Zeiten gut mit der beobachteten überein. Werden langfristige Verhältnisse berechnet unterscheiden sich deren Verteilungen aber deutlich von den physiologischen, die in diesem Zeitraum beobachtet wurden. Mit der zeitlichen Veränderung von p_{Skel} in den nicht variierten biokinetischen Modellen verschiebt sich auch der Mittelwert der Verteilung von p_{Skel} der Simulationen mit verrauschten Modellparametern (Abb. 6-80, Abb. 6-81). Die Annahme, dass das Transferratenverhältnis der gleichen Wahrscheinlichkeitsverteilung folgt wie das langfristige Depositionsverhältnis ist damit widerlegt. Können Mittelwert und Streuung der Betaverteilung so angepasst werden, dass die langfristigen Depositionsverhältnisse von Simulation und Messung übereinstimmen, ist eine Betaverteilung der Transferratenverhältnisse nicht mehr ausgeschlossen.

Bei optimal gewählten Parametern der Betaverteilung geben χ^2-Anpassungstests keine Hinweise darauf, dass es sich bei den mit dem ICRP- und Luciani-Modell erstellten Verteilungen um Stichproben handelt, die nicht der gleichen theoretischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen folgen wie die beobachteten Daten. Es lässt sich aber keine Betaverteilung finden, für die das auch für das Leggett-Modell gilt. Betaverteilungen sind also in der Lage die inter-individuelle Variation der Transferraten im ICRP- oder Luciani-Modell, nicht aber im Leggett-Modell zu beschreiben. Will man eine Verteilung für das Transferratenverhältnis bestimmen mit der die mit dem Leggett-Modell beobachtete Depositionsverteilung reproduziert wird, kann eine Transformationstabelle aufgestellt werden, die den verschiedenen Transferverhältnissen (pSkel(0)) die entsprechenden Depositionsverhältnisse (pSkel(10000)) zuordnet. Diese ist in Abb. 6-82 graphisch in

Form einer Transformationskurve dargestellt. Auf Basis dieser Tabelle ist eine Rücktransformation der beobachteten Werte in die Modellparameter möglich.

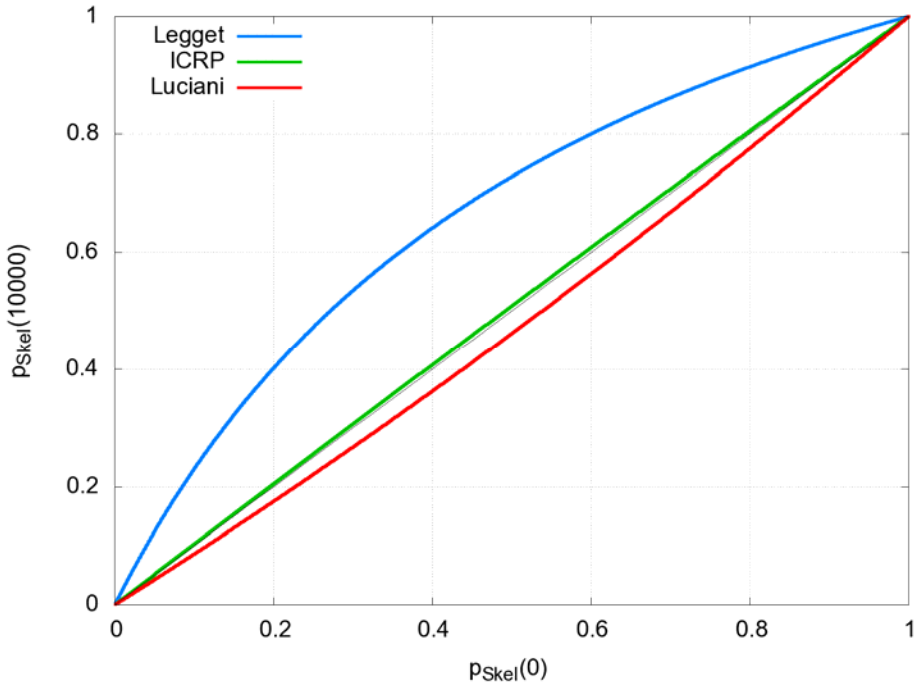


Abb. 6-82: Transformationskurve zur Berechnung der Transferraten-verhältnisse (pSkel(0)) aus den Depositionsverhältnissen (pSkel(10000))

Auswirkungen veränderter pSkel -Werte auf die beobachtbaren Ausscheidungsraten (Urin- und Stuhlausscheidung)

Aufnahmemenge und -zeitpunkt müssen aus den Ergebnissen der Ausscheidungsanalysen mit Hilfe der biokinetischen Modelle abgeschätzt werden. Reichern sich individuell unterschiedliche Fraktionen des Nuklids in Leber und Skelett an, hat dies Einfluss auf das Verhältnis der Aktivitätsausscheidung mit dem Urin und Stuhl. Das Ausmaß des Einflusses lässt sich mit Simulationen mit verändertem p_{Skel} untersuchen. Eine geänderte Leber-Skelett-Aufteilung beeinflusst die tägliche Ausscheidung von Plutonium mit dem Urin nur leicht, da diese von dem Plutoniumanteil im Blut abhängt und dieser nur indirekt (f_{tot} = const.) über das unterschiedliche Speichervermögen von Skelett und Leber verändert wurde. Der Anteil des in der Leber abgelagerten Plutoniums hat hingegen direkten Einfluss. Als Fremdstoff gelangt es mit den Gallsalzen in die von der Leber produziert Galle. Die Galle wird zur Fettverdauung über die Gallenblase dem Speisebrei im Dünndarm zugemischt. Während die Gallsalze wieder resorbiert werden (enterohepatischen Kreislauf), können körperfremde Substanzen mit dem Stuhl ausgeschieden werden. Die Stuhlausscheidung hängt somit direkt mit p_{Skel} zusammen. Generell ist eine Verschiebung der Ausscheidungsverhältnisse erst nach einer mehrtägigen Verzögerung feststellbar. Die Verzögerungsdauer hängt hauptsächlich mit der Modellstruktur der Leber und der Verweilzeit des Plutoniums in den Leberkompartimenten bis es zur Ausscheidung kommt zusammen. Beim ICRP-Modell ist diese Verzögerung am größten (> 10 Tage), während beim Leggett-Modell auch kurzfristig (4-5 Tage nach dem Intake) deutliche Ausscheidungsverschiebungen erkennbar sind. Das Ausscheidungsverhältnis des Luciani-Modells unterscheidet sich deutlich von den beiden anderen. Die Auswirkungen einer Veränderung von p_{Skel} sind zeitlich zwischen den beiden anderen Modellen am stärksten. Den größten Einfluss hat ein veränderter p_{Skel}-Wert je nach Modell nach einigen zehn bis mehreren Hundert Tagen. Anhand von Messungen der Ausscheidungsverhält-

nisse in diesem Zeitraum lässt sich ein individueller *partitioning factor* am genauesten schätzen. Eine Verbesserung der individuelle Dosisberechnung ist damit möglich.

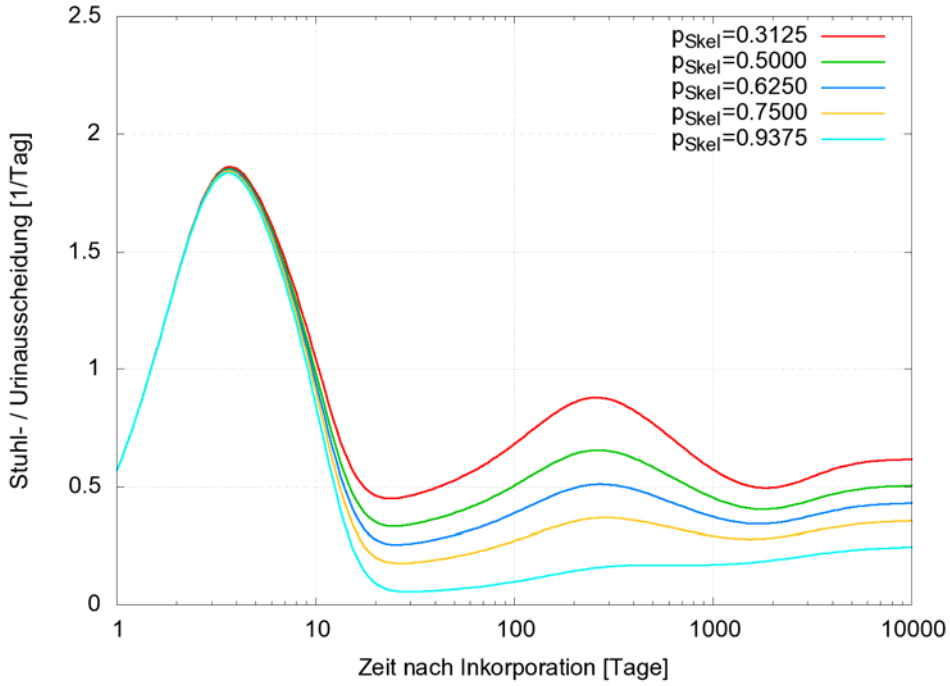


Abb. 6-83: Verhältnis der täglichen Ausscheidungsraten mit Stuhl und Urin für einige pSkel - Werte für das ICRP-Modell

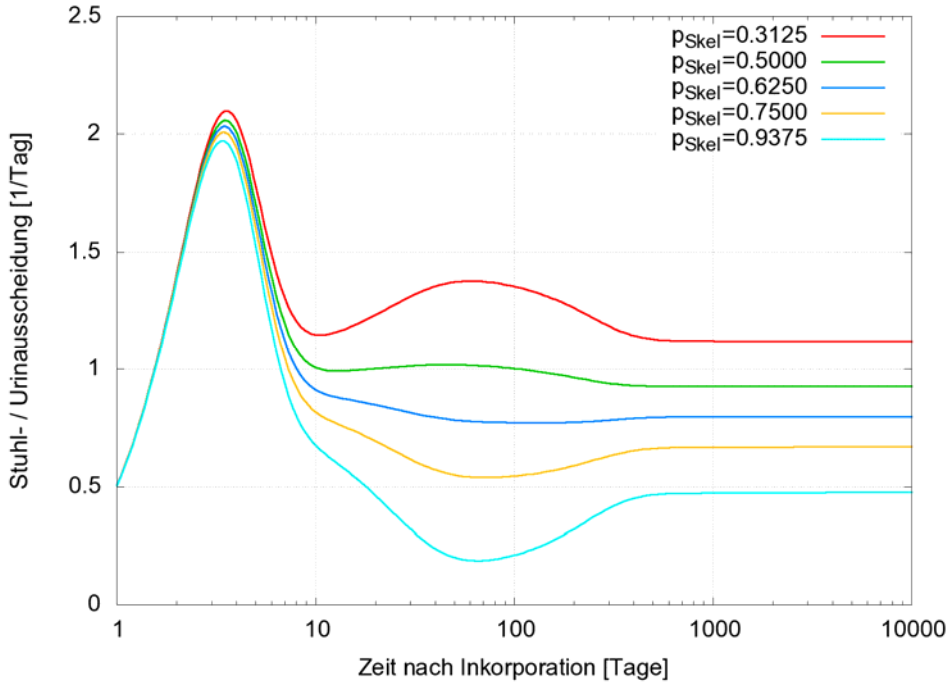


Abb. 6-84: Verhältnis der täglichen Ausscheidungsraten mit Stuhl und Urin für einige p_{Skel} - Werte für das Luciani-Modell

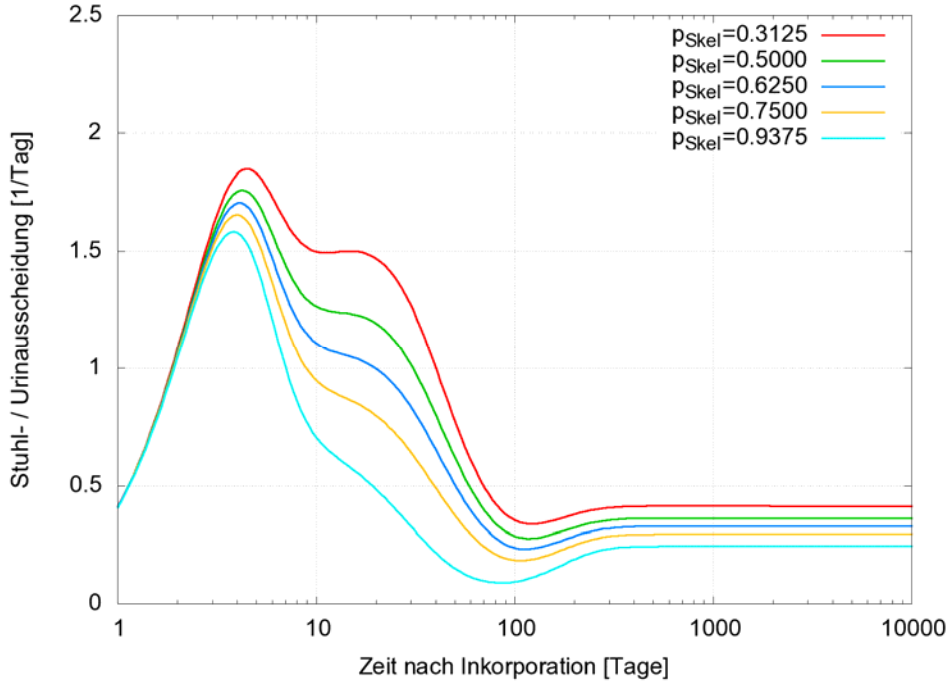


Abb. 6-85: Verhältnis der täglichen Ausscheidungsraten mit Stuhl und Urin für einige pSkel - Werte für das Leggett-Modell

Zusammenfassung

Über den partitioning factor lässt sich das Verhältnis der Deposition in Skelett und Leber einfach variieren, ohne dass die Retention in anderen Organe direkt davon betroffen ist. Der Einfluss inter-individueller Variationen dieses Verhältnisses lässt sich somit über diesen Modellparameter mittels Monte-Carlo-Simulationen untersuchen. Dazu wurden geeignete Datensätze über die Plutonium in Skelett und Leber ermittelt und daraus mögliche Verteilungen für die Transferratenverteilung bestimmt, die sich jedoch für die verschiedenen aktuellen biokinetischen Modelle unterscheiden. Leber- und Skelettdepositionen lassen sich nicht im lebenden Menschen bestimmen und können deshalb nur indirekt aus dem Verhältnis der ausgeschiedenen Plutoniummenge mit dem Stuhl und Urin abgeschätzt werden und so zur Verbesserung der individuellen Dosisabschätzung beitragen.

In einem weiteren Schritt sollte untersucht werden, ob die berechneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für pSkel durch beobachtete Ausscheidungsverhältnisse [Jon85], [Kho04] verifiziert werden können und was für Auswirkungen die Schätzung eines individuellen pSkel-Werts auf die berechnete Dosis hat.

6.4.2.4 Rechnungen mit dem NCRP Wundmodell

W. Klein, B. Breustedt

Die Aufnahme von Radionukliden über Wunden (Invulneration) in den Körper gehört nach der Inhalation und der Ingestion zu den häufigsten Inkorporationsformen. Für die Dosisabschätzung und medizinische Behandlung kontaminierter Wunden hat die NCRP ein biokinetisches Modell [NCRP156] entwickelt, welches die Kontamination in sieben verschiedene Kategorien unterteilt. Für Wundkontaminationen mit löslichen Radionukliden wurden die 4 Retentionsklassen „weak“, „moderate“, „strong“ und „avid“ definiert. Gelangen die Nuklide als Festkörper in den Körper, werden sie abhängig von ihrer Größe als „particle“ oder „fragment“ klassifiziert. In die Kategorie „colloid“ fallen hauptsächlich Hydrolyseprodukte radioaktiver Metalle. Das Wundmodell beschreibt mit insgesamt 5 Kompartimenten die die verschiedenen chemischen und physikali-

schen Formen repräsentieren, den Materialtransfer für alle Wundkontaminationskategorien.. Für jede Kategorie wurde dazu ein Parametersatz gefunden, der die Biokinetik an die Daten optimal anpasst. Aus der Wunde fließt das Radionuklid ins Blut und die Lymphknoten ab.

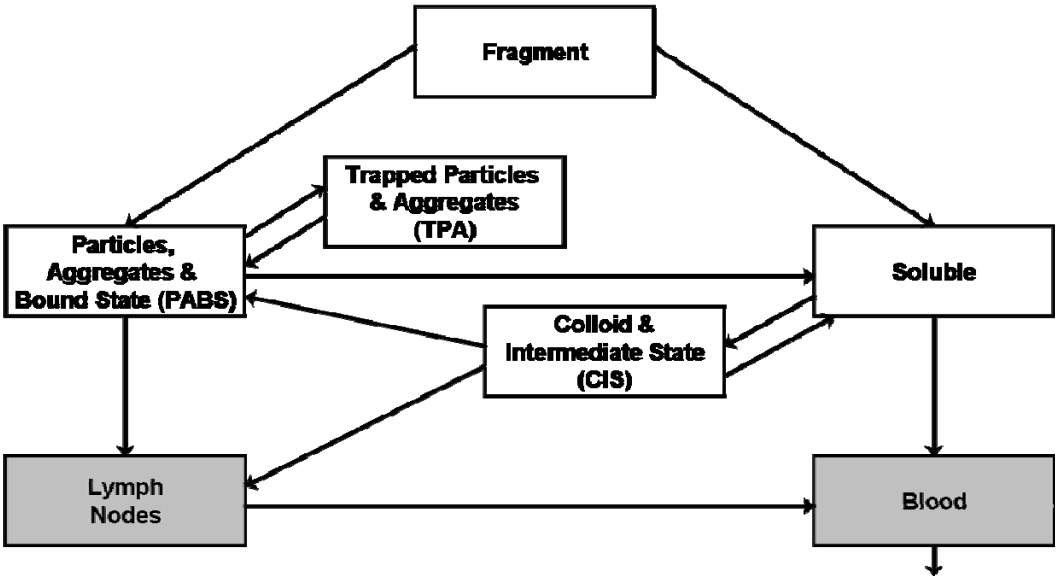


Abb. 6-86: Kompartimentstruktur des generischen Wundmodells

Zusätzlich zum Kompartimentmodell wurden Retentionsfunktionen zu den verschiedenen Wundkategorien veröffentlicht, die das Rückhaltevermögen des Nuklids in der Wunde beschreiben. Die zugehörigen Exponentialterme wurden jedoch unabhängig vom Kompartimentmodell bestimmt. Die Vorhersagen des Modells weichen daher zum Teil deutlich von denen der Retentionsfunktionen ab (Abb. 6-87). Die Diskrepanz zwischen Retentionsfunktionen und Kompartimentmodell führt zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Dosisabschätzung.

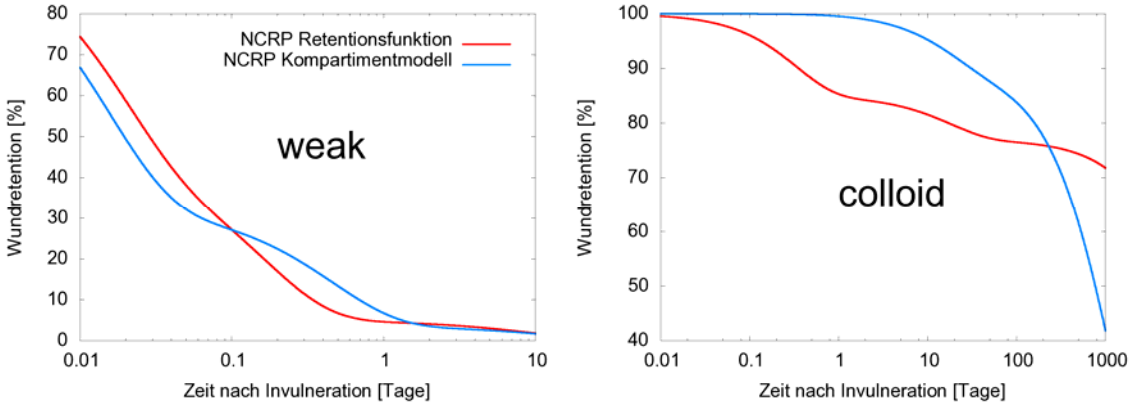


Abb. 6-87: Diskrepanz zwischen NCRP Retentionsfunktion und Kompartimentmodell

Im Rahmen des CONRAD Projekts [Nos08] wurden deshalb die Koeffizienten der Exponentialterme als Lösungen der Modellgleichungen neu bestimmt. Dazu wurden die Differentialgleichungen des Modells mittels Eigenwertzerlegung gelöst und die so berechneten Exponentialterme für die Retentionsfunktion übernommen. Die neu berechneten Retentionsfunktionen stimmen dann genau mit der Retention des Kompartimentmodells überein. Anderer Teilnehmer des CONRAD Programms, die die Differentialgleichungen teilweise mit anderen Lösungsverfahren lösen, kommen zu denselben Ergebnissen.

Entscheidend für die durch die Kontamination resultierende Dosis ist die Abgabe des Radionuklids von der Wunde ins Blut. Dort steht es dann für den Stoffwechsel zur Verfügung und nimmt wie alle Stoffe an ihm teil. Die Lösung der Differentialgleichungen des Wundmodells führen zu einer Aufnahmefunktion ins Blut, die aus einer Summe aus bis zu 4 Exponentialtermen besteht:

$$f(x) = A_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t} + A_3 \cdot e^{-\alpha_3 \cdot t} + A_4 \cdot e^{-\alpha_4 \cdot t}$$

Die aus dem Kompartimentmodell bestimmten Koeffizienten dieser Aufnahmefunktion können aus Tab. 6-16 für die verschiedenen Wundkategorien abgelesen werden.

	Koeffizienten der Exponentialfunktion							
Kategorie	A_1	α_1	A_2	α_2	A_3	α_3	A_4	α_4
weak	2,85E-03	7,71E-02	0,626	2,162	44,371	65,891		
moderate	1,69E-03	1,82E-02	9,49E-02	0,306	44,903	75,161		
strong	2,07E-04	9,59E-04	5,93E-03	2,27E-02	0,664	1,282		
avid	7,68E-04	9,68E-04	7,19E-03	10,002	6,992	37,032		
colloid	-4,21E-03	3,021	7,08E-04	7,71E-04	2,13E-03	5,69E-02	1,37E-03	0,03
particle	1,43E-04	4,71E-02	5,07E-04	2,90E-04	-2,00E-04	100	-4,50E-04	6,00E-04
fragment	2,04E-06	0,704	5,88E-05	8,00E-03	2,82E-06	2,84E-06	-6,36E-05	0,03

Tab. 6-16: Koeffizienten der Exponentialfunktion zur Beschreibung der Aufnahme ins Blut

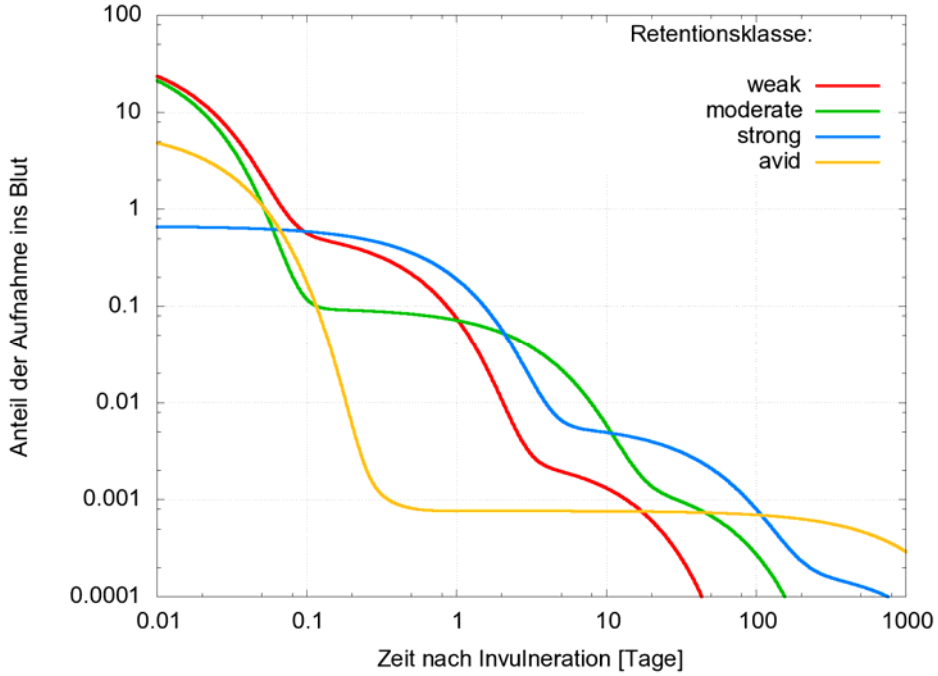


Abb. 6-88: Aufnahme von gelösten Radionukliden unterschiedlicher Retentionsklassen ins Blut

Anmerkung:

Die Funktion, die die Aufnahme ins Blut für die Kategorie „fragment“ darstellt, reagiert im Anfangsbereich (t<1) sehr empfindlich auf kleine Änderungen der Exponentialtermparameter. Im Zeitbereich unter einem Tag weicht die Kurve mit 6 signifikanten Stellen stark von einer mit nur 3 ab (Abb. 6-90).

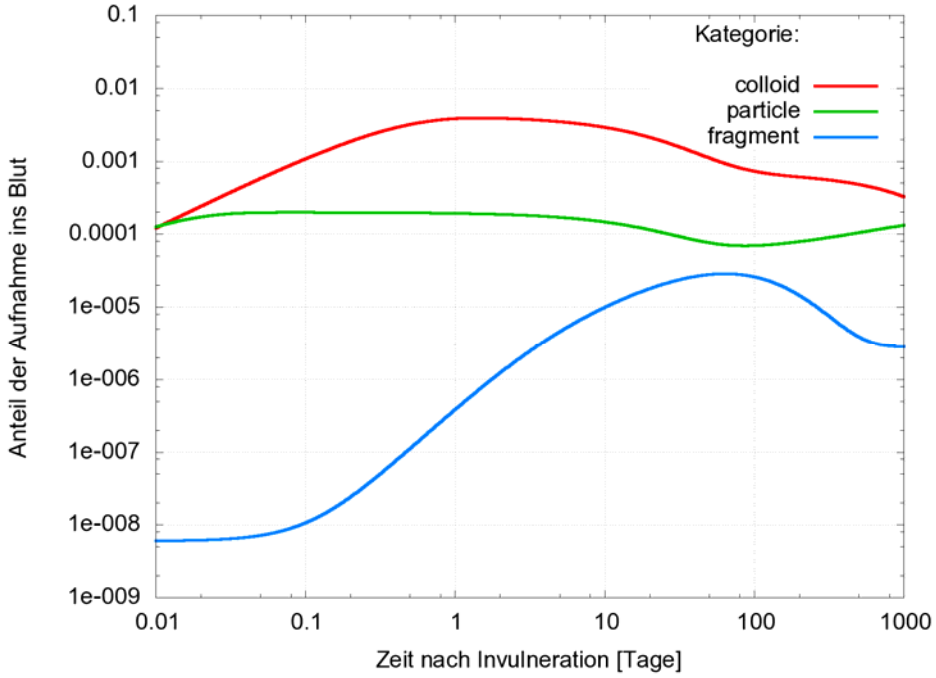


Abb. 6-89: Aufnahme von Radionukliden verschiedenen Kategorien ungelöster Stoffe ins Blut

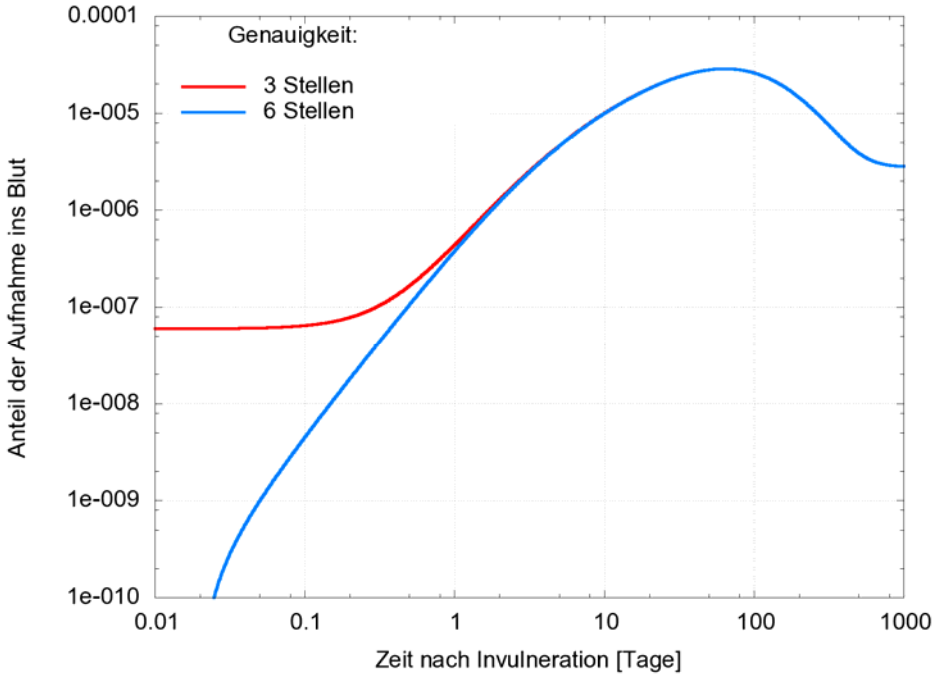


Abb. 6-90: Aufnahme ins Blut der Wundretentionskategorie „fragment“ mit unterschiedlicher Parametergenauigkeit

6.5 Natürliche Strahlenexposition, Strahlenexposition bei „Arbeiten“

6.5.1 Routinemäßige Ermittlungen der Radonexposition mit Kernspurverfahren

M. Schaller, S. Nagels

Zur Überwachung der Radonkonzentration in der Luft werden im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelte passive Radondiffusionskammern (Radonexposimeter) mit Kernspurätzdetektoren angeboten. Zusätzlich erfolgt die Bereitstellung von Kernspurdetektoren für Kunden, die die Auswertung der Radonexposimeter selbst durchführen.

Im Jahr 2008 wurden, außerhalb des Radonprojekts für Wasserwerke (s. Kap. 6.5.3), 750 Radonexposimeter und 3717 einzelne Kernspurfolien ausgewertet.

6.5.2 Teilnahme an der Vergleichsbestrahlung des BfS

Voraussetzung für die Zulassung als Radonmessstelle nach der "Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 der Strahlenschutzverordnung" ist die jährliche Teilnahme an der seit 2003 vom BfS veranstalteten Vergleichsprüfung. Im Jahr 2008 haben wir mit einem Set daran teilgenommen. Die Ergebnisse unserer Auswertung im Jahr 2008 sind in Tab. 6-17 wiedergegeben.

$P_{Rn, Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]	$U_{Rn, Ref}$ in %	$P_{Rn, FZK}$ [kBq·h·m^{-3}]	rel. Messabweichung zu $P_{Rn, Ref}$ [%]
210	12	229,9	9,5
284	7	313,7	10,5
964	7	1025,1	6,3
3035	7	2733,7	-9,9

Tab. 6-17: Ergebnisse des Radonlabors bei der BfS Radonvergleichsbestrahlung 2008

6.5.3 Radon in Wasserwerken, BWPlus Projekt

S. Nagels, S. Ugi

Die Inhalation kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte ist eine wesentliche Quelle für eine berufliche Strahlenexposition z. B. in Wasserwerken.

Ende 2005 wurde ein Vorhaben begonnen, um möglichst flächendeckend Betreiber von Wasserwerken zu informieren. In Form von begleitenden Messungen in Baden-Württemberg soll ein Überblick über die tatsächliche Strahlenexposition von Mitarbeitern gewonnen werden und, sofern erforderlich und möglich, Vorschläge für einfache aber wirkungsvolle Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition gemacht werden. Dieses Vorhaben wird über den Projektträger BWPlus im Auftrag des Landes Baden-Württemberg finanziert und schließt an frühere Arbeiten der Hauptabteilung Sicherheit zu diesem Thema an.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist das Radonprojekt abgeschlossen und verzeichnet 171 teilnehmende Wasserversorgungsunternehmen (WVU). Der Abschlussbericht über die durchgeführten Messungen mit passiven Kernspurdetektoren ist als Wissenschaftlicher FZK-Bericht verfügbar. Ein Bericht über die durchgeführten aktiven Vor-Ort-Messungen wird im Jahr 2009 erstellt werden.

Die schwere Erreichbarkeit der Wasserversorgungsunternehmen und der schlechte Informationsfluss innerhalb der Dachverbände der Wasserversorger machten eine Verlängerung des Projekts bis 2008 notwendig, um tatsächlich flächendeckend in Wasserversorgungsunternehmen in Baden-Württemberg Radonmessungen vorzunehmen.

Zusammenfassend ist fest zu halten, dass es in Baden-Württemberg Wasserwerke gibt in denen die Mitarbeiter einer Radonexposition größer 6 mSv in einem Kalenderjahr ausgesetzt sein können. Weitere Hilfestellungen wie Aktivmessungen vor Ort und Unterstützung bei Maßnahmen zur Verringerung der Radonexposition werden durch HS-KES (jetzt ISF) durchgeführt werden.

7 Umweltschutz

7.1 Betriebsbeauftragte im Umweltschutz

J. Brand, K. Dettmer

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist gesetzlich verpflichtet, Betriebsbeauftragte für Abfall, für Gewässerschutz, für Immissionsschutz sowie einen Gefahrgutbeauftragten zu bestellen. Die Aufgaben dieser Betriebsbeauftragten wurden im Berichtsjahr durch zwei Mitarbeiter der Abteilung „Technisch administrative Beratung und Genehmigungen“ wahrgenommen. Jeweils in Personalunion erfüllen der Gefahrgut- und Abfallbeauftragte sowie der Gewässerschutz- und Immissionsschutzbeauftragte die gesetzlichen Anforderungen, die sich insbesondere aus dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), der Gefahrgutbeauftragtenverordnung (GbV), dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ergeben. Die Beauftragten sind organisatorisch der Hauptabteilung Sicherheit (HS) zugeordnet, so dass neben der organisatorischen Unabhängigkeit von den operativen Betriebsbereichen auch der rechtlichen Forderung nach Zusammenarbeit im Arbeits- und Umweltschutzbereich Rechnung getragen werden kann. Innerhalb der Abteilung „Technisch administrative Beratung und Genehmigungen“ sind die Umweltschutzbeauftragten darüber hinaus eng in genehmigungsrelevante Vorhaben des Forschungszentrums eingebunden.

Zu den rechtlich vorgeschriebenen Aufgaben der Betriebsbeauftragten im Umweltschutz gehören vorwiegend Beratungs- und Kontrolltätigkeiten sowie Überwachung, Information und Dokumentation. Zusätzlich werden von den Umweltschutzbeauftragten die wiederkehrenden Prüfungen innerhalb des Zentrums überwacht sowie bestimmte Aufgaben im Hinblick auf die Umsetzung der chemikalienrechtlichen Anforderungen, insbesondere der Gefahrstoffverordnung wahrgenommen.

7.1.1 Gefahrgutbeauftragter

J. Brand

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist an der Beförderung gefährlicher Güter auf öffentlichen Verkehrswegen in mehrfacher Hinsicht beteiligt. Es sind vor allem die gesetzlichen Pflichten für die Transportvorbereitung (als Auftraggeber, Absender bzw. Versender, Verpacker, Befüller und Verlader) und für die Transportnachbereitung (Empfänger) wahrzunehmen. Die Beförderungen finden im Straßen-, Schienen- und im Luftverkehr, gelegentlich auch im Seeverkehr statt. Regelmäßig werden gefährlicher Güter fast aller Klassen[1] versendet und empfangen, mit Ausnahme von Explosivstoffen der Klasse 1 und von ansteckungsgefährlichen Stoffen der Klasse 6.2.

Die Aufgaben des Forschungszentrums im Zusammenhang mit der Gefahrgutbeförderung sind organisatorisch unterteilt in

- den Umschlag von (nicht-radioaktiven) Gefahrgütern als Produkte
- den Umschlag von (nicht-radioaktiven) gefährlichen Abfällen und
- den Umschlag radioaktiver Gefahrgüter der Klasse 7.

---

[1] Gefahrgüter werden nach der Art ihrer Gefährlichkeit in 9 Klassen eingeteilt. Diese Gefahrgutklassen sind verkehrsträgerübergreifend weitgehend harmonisiert und in den jeweiligen verkehrsträgerspezifischen Vorschriften beschrieben, z.B. in Teil 2 des ADR bzw. RID für den Straßen- bzw. Schienenverkehr, in Kapitel 2 der ICAO-TI und in Abschnitt 3 der IATA-DGR für den Luftverkehr sowie in Teil 2 des IMDG-Codes für den Seeverkehr.

Die Beförderung von Gütern der Klasse 7 ist aufgrund der besonderen Eigenschaft radioaktiver Stoffe und der Überschneidung von umgangs- und transportrechtlichen Anforderungen an besondere technische und organisatorische Voraussetzungen geknüpft. In erster Linie sind davon die materiellen Verpackungs- und Versandanforderungen betroffen. Darüber hinaus erfordert die Vorbereitung und Nachbereitung einer Radioaktivbeförderung die enge Zusammenarbeit von Versand-, Verlade- bzw. Empfangspersonal mit dem Personal des operativen Strahlenschutzes.

Aufgrund des großen Umfangs und der erheblichen Änderungsdynamik der gefahrgutrechtlichen Vorschriften wurden im Forschungszentrum alle Tätigkeiten, die mit der Beförderung gefährlicher Güter zusammenhängen, auf wenige ausgewiesene Organisationseinheiten bzw. Abteilungen konzentriert. Dies ist nicht zuletzt aufgrund der hohen rechtlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen und der notwendigen umfangreichen Fachkenntnisse des am Gefahrguttransport beteiligten Personals sowie dem damit verbundenen Informations- und Schulungsbedarf sinnvoll. Darüber hinaus werden die wissenschaftlich tätigen Mitarbeiter in den Instituten von der Anwendung der komplexen Gefahrgutvorschriften – allein das internationale Regelwerk für den Straßenverkehr ADR[1] hat einen Umfang von rund 1000 Seiten Papier – weitgehend entlastet.

Die Beförderung von radioaktiven Gefahrgütern der Klasse 7 wird durch die Beförderungsleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) zentral gesteuert. Grundlage dafür ist eine Organisationsanweisung des Sicherheitsbeauftragten des Forschungszentrums für die Strahlenschutzbeauftragten. Im Berichtszeitraum wurde diese durch eine neue „Ordnung der Beförderung von radioaktiven Stoffen vom und zum Forschungszentrum Karlsruhe (Versandordnung radioaktive Stoffe 2008)“ aktualisiert und systematisiert. Die Beförderungsleitstelle organisiert und koordiniert die Versandvorbereitungen und stellt die Einhaltung der das Forschungszentrum betreffenden Pflichten der Gefahrgutvorschriften sicher. Alle Organisationseinheiten, die radioaktive Stoffe versenden wollen, sind durch die Versandordnung angewiesen, dies über die Beförderungsleitstelle der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe durchzuführen. Auch bei der Entgegennahme von angelieferten Radioaktivsendungen ist die Beförderungsleitstelle einzubinden.

Für Beförderungen radioaktiver Stoffe, die vom Forschungszentrum ausgehen, werden zuverlässige Transportunternehmen mit – sofern erforderlich – entsprechender Beförderungsgenehmigung beauftragt. Insgesamt wurden von der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) 155, davon für eigene Zwecke 75 An- und Abtransporte über die Verkehrsträger Straße und Schiene abgefertigt (teilweise mit anschließendem bzw. vorausgegangenem Lufttransport). Als Transportmittel wurden auf der Straße Lkw, Pkw, Kleintransporter bzw. Container und auf der Schiene Eisenbahnwagen und Container eingesetzt.

Der Transport radioaktiver Stoffe innerhalb des Betriebsgeländes ist durch die interne Transportordnung (ITO) geregelt. Diese ist Bestandteil einer atomrechtlichen Genehmigung des Forschungszentrums nach § 9 Abs. 1 AtG.

Die Beförderungsvorbereitung und der Versand nicht-radioaktiver Gefahrgüter als Produkte findet durch die Versandstelle der Hauptabteilung Einkauf- und Materialwirtschaft (EKM-MW) statt, während die entsprechenden Tätigkeiten bei nicht-radioaktiven Abfällen als gefährliche

---

[1] ADR = Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)

Güter durch die Abfallwirtschaftszentrale (BTI-V) des Forschungszentrums wahrgenommen werden. Der Empfang von Gefahrgut erfolgt über den Wareneingang beim Chemikalienlager. Von dort werden die Güter in den Originalverpackungen unterschiedlicher Größe innerbetrieblich weitertransportiert und verteilt. Eingehende Tanktransporte und Anlieferungen von Druckgasflaschen bedienen direkt die Entladeeinrichtungen bei den Organisationseinheiten.

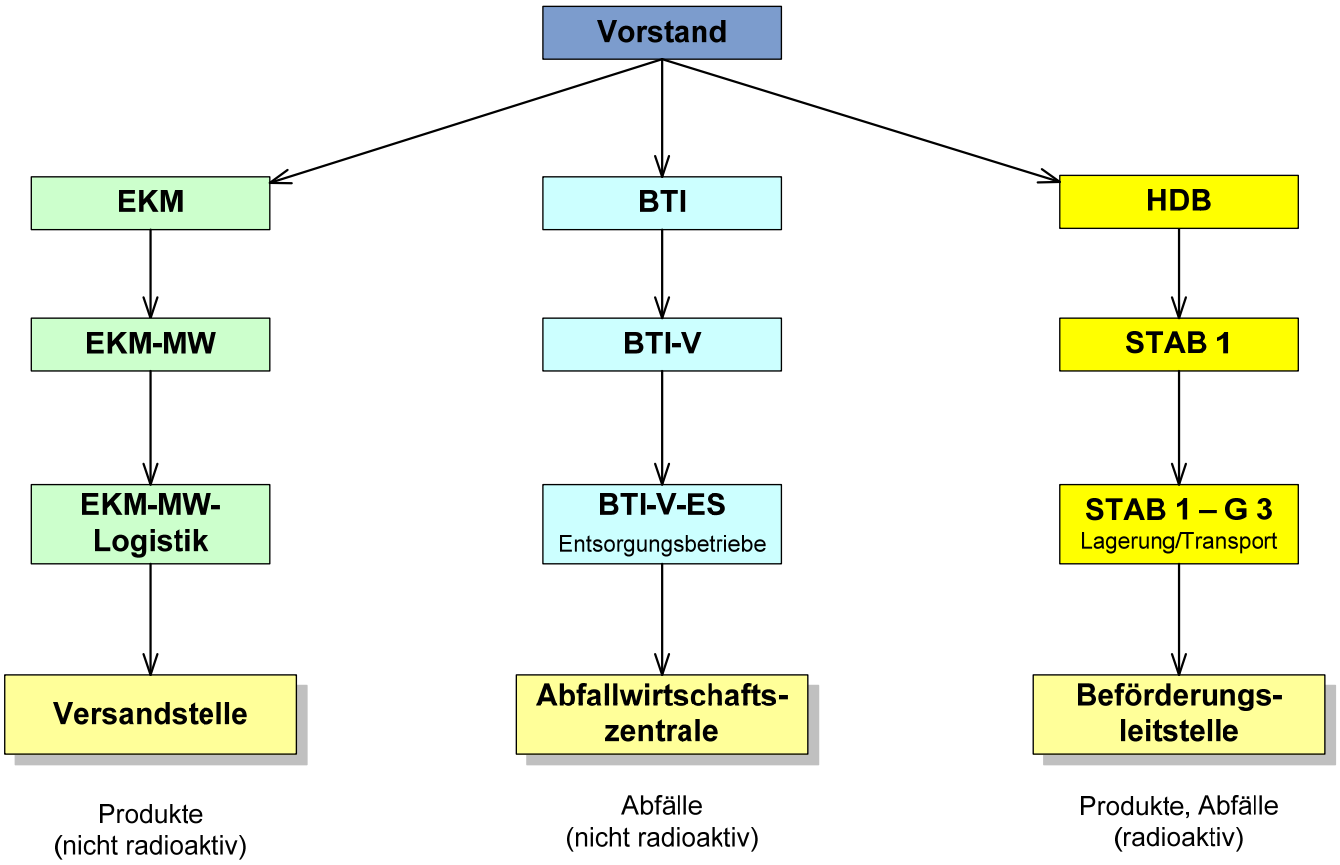


Abb. 7-1: Organisation des betrieblichen Gefahrgutumschlags im Forschungszentrum

Im Berichtsjahr wurden rund 200 Antransporte von Gasen in Druckbehältern oder in Tankfahrzeuge und anschließendem Abtransport von leeren ungereinigten Gefäßen oder Tankfahrzeugen (ebenfalls Gefahrguttransporte) abgewickelt. Hinzu kamen etwa 100 Anlieferungen sowie 29 ausgehende Sendungen von Feinchemikalien und technischen Chemikalien. Heizöl wurde 2008 nicht angeliefert. Über die Abfallwirtschaftszentrale wurden 23 Beförderungen von gefährlichen Abfällen (als Gefahrgut) durchgeführt. Insgesamt wurden rund 2000 Mg nicht-radioaktiver Gefahrgüter umgeschlagen.

Neben den Beförderungen, die das Forschungszentrums betreffen, finden über das Betriebsgelände am Standort Eggenstein-Leopoldshafen Aus- bzw. Anlieferungen von Gefahrgutsendungen für die stationären Fremdfirmen, insbesondere für das Institut für Transurane (ITU), die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs-GmbH (WAK) und die Zyklotron Karlsruhe AG (ZAG) statt.

Im Berichtszeitraum kam es weder zu Unfällen, noch zu sicherheitsrelevanten besonderen Ereignissen. Insgesamt wurden rund 100 Einzelvorgänge zum Gefahrgutumschlag durch den Gefahrgutbeauftragten, davon alle Beförderungsvorbereitungen bei der Versandstelle und der Abfallwirtschaftszentrale kontrolliert. Festgestellte Mängel bei der Anlieferung bzw. Annahme radioaktiver Stoffe bei der Beförderungsleitstelle bzw. bei nicht-radioaktiven Gefahrgütern bei EKM-MW (Wareneingang) sowie bei der Beförderung gefährlicher Abfälle durch Fremdfirmen waren

zumeist formaler Art. Diese Mängel wurden jeweils unmittelbar den Verantwortlichen der Absender, Lieferanten, Speditionen oder Beförderer mit der Maßgabe zur Beseitigung mitgeteilt sowie intern kommuniziert.

Insgesamt gab es, wie in den vergangenen Jahren, wenig Anlass zu Beanstandungen. Allgemein ist ein hohes Sicherheitsniveau festzustellen, das zurückgeführt werden kann auf eine zentrale und übersichtliche Gefahrgutorganisation mit eindeutigen Zuweisungen von Zuständigkeiten, die intensive Beratungstätigkeit und Informationsvermittlung, sowie eine funktionierende Zusammenarbeit der Verantwortlichen (beauftragte Personen) und der ausführenden Mitarbeiter mit dem Gefahrgutbeauftragten.

Die ein- und ausgehenden Beförderungen gefährlicher Güter werden durch die beauftragten Personen und deren Mitarbeiter anhand von spezifischen Checklisten überprüft. Teilweise umfassen die Checklisten auch Kontrollpunkte, die nicht nur den rechtlichen Pflichten und Kontrollvorgaben genügen, sondern im Rahmen der Erfüllung allgemeiner Sorgfaltspflichten über die spezifischen Absender- oder Verladerpflichten hinausgehen. Auch im Berichtszeitraum wurden die Dokumente und Kontrolllisten für die Annahme und den Abtransport radioaktiver Stoffe sowie für nicht-radioaktive Gefahrgüter den rechtlichen und betrieblichen Belangen ständig angepasst.

Die Aufbauorganisation zur Beteiligung des Forschungszentrums an der Beförderung gefährlicher Güter sowie die festgelegten Abläufe werden regelmäßig im Jahresbericht des Gefahrgutbeauftragten dokumentiert. Die Ablauforganisation ist überwiegend in Arbeits- und Verfahrensanweisungen festgeschrieben. Soweit keine besonderen Verfahrens- und Arbeitsanweisungen zur Gefahrgutbeförderung existieren, ist die Organisation in Strahlenschutz- bzw. sonstigen Arbeitsanweisungen eingearbeitet.

Auf Grund der sich permanent ändernden Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter im Straßen-, Schienen- und Luftverkehr verfolgt der Gefahrgutbeauftragte eine intensive Beratungs-, Informations- und Schulungstätigkeit. Aufgrund der zahlreichen Änderungen in den relevanten Vorschriften wurden im Berichtszeitraum alle am Gefahrgutumschlag beteiligten Mitarbeiter der Abfallwirtschaftszentrale (BTI-V-AF), von EKM, HS-ÜM sowie der HDB tätigkeitsbezogen geschult und auf die künftigen gefahrgutrechtlichen Anforderungen vorbereitet. Darüber hinaus führte der Gefahrgutbeauftragte Informationsveranstaltungen für das mittelbar beteiligte Personal (z.B. Schichtpersonal des Werksschutzes bei HS-WS) durch.

Die ständigen Änderungen und Neuerungen der Regelungen zum Gefahrguttransport werden auch künftig eine intensive Informationsvermittlung und Beratung erfordern. Das Ziel ist dabei nach wie vor, bei allen am Gefahrgutumschlag beteiligten Mitarbeitern ein hohes Maß an Fachwissen und darüber hinaus einen Diskussionsrahmen für auftretende Fragestellungen aller Art im Zusammenhang mit dem Gefahrgutumschlag zu gewährleisten.

7.1.2 Betriebsbeauftragter für Abfall

J. Brand

Der Vollzug und die Umsetzung der Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) sowie des nach wie vor expandierenden untergesetzlichen Regelwerkes standen weiterhin im Vordergrund der Tätigkeiten zur Abfallwirtschaft. Von besonderer Bedeutung waren hierbei

- die Bearbeitung von Fragestellungen zur Abgrenzung zwischen Abfall und Produkt sowie zwischen Verwertung und Beseitigung
- die Überprüfung der Abfallbestimmung nach der europäischen Abfallnomenklatur und der Abfallverzeichnisverordnung

- die Verfolgung der Entsorgungswege, auch für Abfälle, die von Lieferanten auf Grund einer Rücknahmeverordnung oder auf freiwilliger Basis zurückgenommen werden
- die verwaltungstechnischen Abläufe zu den Nachweisverfahren insbesondere zum Verbleib der gefährlichen Abfälle sowie
- die Umsetzung der neueren abfallspezifischen Rechtsvorschriften.

Die Organisation der Kreislauf- und Abfallwirtschaft des Forschungszentrums, mit der Übertragung nahezu aller abfallrechtlich geforderten Pflichten und der damit zusammenhängenden Aufgaben auf die Abfallwirtschaftszentrale (Bereich Technische Infrastruktur – Ver- und Entsorgung – BTI-V-AF), hat sich hierbei erneut in besonderer Weise bewährt. Das dort beschäftigte, fachkundige Personal bewältigt die gestellten Aufgaben, nicht zuletzt auch auf Grund der intensiven Zusammenarbeit mit dem Betriebsbeauftragten für Abfall, effektiv und ökonomisch. Die zentrale Abwicklung aller Entsorgungsmaßnahmen durch die Mitarbeiter der Abfallwirtschaftszentrale vereinfacht die innerbetrieblichen Abläufe erheblich. Gleichzeitig bleibt der innerbetriebliche Aufwand für die Abfallentsorgung trotz zunehmender rechtlicher Anforderungen auf das notwendige Maß beschränkt. Nicht zuletzt dient die Fokussierung der abfallrechtlichen Pflichten des Forschungszentrums auf eine Organisationseinheit der notwendigen Rechtssicherheit im Bereich unserer betrieblichen Abfallwirtschaft.

Nach wie vor zeigte sich, dass durch eine gewissenhafte Sortierleistung bei der Abfallerfassung qualitativ hochwertige und wirtschaftliche Verwertungswege eingeschlagen werden können. Die Umsetzung der umfangreichen abfallrechtlichen Anforderungen erfordert regelmäßig einen hohen Aufwand für den Informationsaustausch und für die Kommunikation mit den internen Abfallverursachern, den externen Entsorgern und Behörden.

Die Durchführung des abfallrechtlich vorgeschriebenen Nachweisverfahrens zur Überwachung der Abfallströme im Verbund mit dem Forschungszentrum als Abfallerzeuger, den Beförderern, Entsorgern und Behörden erfolgt routinemäßig und nahezu problemlos. Dies ist nicht zuletzt auch auf die zentrale Zuständigkeit der Sonderabfallagentur (SAA) in Baden-Württemberg für die verwaltungsmäßige Überwachung der Abfallströme zurückzuführen. Kleinere interne Kommunikationsstörungen, insbesondere beim Datenfluss im Zusammenhang mit der Abgabe von Abfällen durch die Organisationseinheiten sowie bei der gelegentlichen Anlieferung von Sonderabfällen, die ausschließlich zu Forschungszwecken eingesetzt werden, konnten zügig behoben werden.

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten aufgenommen, um den geänderten Rechtsvorschriften zur künftigen elektronischen Nachweisführung fristgerecht bis April 2010 nachzukommen. Schwerpunkte waren insbesondere die Schaffung der Voraussetzungen für die elektronische Kommunikation mit den externen Beteiligten des abfallrechtlichen Nachweisverfahrens, wie den Entsorgern, den Beförderern und den Behörden sowie für die elektronische Führung des Entsorgungsregisters.

Für alle gefährlichen Abfälle des Forschungszentrums werden eigene Entsorgungsnachweise geführt, soweit die Abfälle nicht über Sammelentsorgungsnachweise entsorgt werden. Eine Ausnahme bilden lediglich Abfälle, die bei der Rücknahme ge- bzw. verbrauchter Produkte als gefährliche Abfälle zur Verwertung oder Beseitigung (z. B. Altbatterien oder Altchemikalien) entsorgt werden. So ist bei einer Rücknahme- oder Rückgabepflicht (z. B. durch das Elektro- und Elektronikaltgerätegesetz oder die Batterieverordnung) bzw. bei freiwilliger Rücknahme nach § 25 Abs. 2 KrW-/AbfG keine Nachweisführung für den Abfallerzeuger erforderlich. Unabhängig davon wird der Verbleib dieser Abfallströme durch den Abfallbeauftragten überwacht.

Im Berichtszeitraum kam es weder zu Unfällen noch zu Zwischenfällen, bei denen Personen oder die Umwelt im Zusammenhang mit der Sammlung, dem Umschlag und der Entsorgung von Abfällen zu Schaden kamen oder die Abfallentsorgung grob fehlerhaft durchgeführt wurde.

Auch waren keinerlei behördliche Beanstandungen oder rechtliche Sanktionen hinzunehmen bzw. abzuwehren.

Die mit der Abfallsatzung 2004 grundlegend geänderten Entsorgungsmodalitäten von gewerblichen Siedlungsabfällen (hausmüllähnlicher Gewerbeabfall) über ein elektronisch gesteuertes Abholsystem (Behälter-Chipsystem) im Rahmen einer Entsorgungsvereinbarung zwischen dem Forschungszentrum und dem Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises verläuft im großen und ganzen zufriedenstellend. Abgesehen von immer wieder auftretenden Unstimmigkeiten im Hinblick auf die Abrechnungspraxis kann man von einer routinemäßigen Abholung der Gewerbeabfälle durch den Landkreis sprechen.

Vereinzelt gab es Anlässe, Mitarbeiter auf die Einhaltung der internen Abfallregelungen hinzuweisen. Dies betraf insbesondere die Nichtbeachtung von Sortiervorgaben an den betrieblichen Sammelstellen. Insbesondere bei den Abfallcontainern für die Sammlung von Metallabfällen bei der Hauptwerkstatt sind trotz der vorgenommen Maßnahmen zur Verminderung von unbeabsichtigten oder beabsichtigten Fehlwürfen regelmäßige Kontrollen unumgänglich.

Darüber hinaus mussten erneut Defizite bei der Sammlung und Sortierung von Fremdfirmenabfällen im Zusammenhang mit Bautätigkeiten auf dem Betriebsgelände beanstandet und mit den Bauleitungen bzw. Projektverantwortlichen kommuniziert werden. Der Umgang mit Abfällen von Fremdfirmen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums ist durch die Baustellenordnung klar geregelt. Dennoch entsprach der Zustand der Abfallsammeleinrichtungen der Fremdfirmen in einigen Fällen nicht den Standards des Forschungszentrums. Die Baustellenordnung wurde aktualisiert und zu einer umfassenden Regelung für die Beauftragung und den Einsatz von Fremdfirmen im Forschungszentrum erweitert.

Der Einsatz des EDV-Moduls „Waste Management“ zum Programmsystem SAP EH&S für die innerbetriebliche Abfalldatenverwaltung verläuft weitgehend zufriedenstellend. Allerdings zeichnet sich bereits ab, dass dieses Werkzeug die künftigen abfallrechtlich geforderten elektronischen Anforderungen nicht oder nur unzureichend zu bewältigen imstande sein wird. Mit einer branchenspezifischen Software wird die ab April 2010 gesetzlich geforderte elektronische Nachweis- und Registerführung sowie die dazu erforderliche ausschließlich elektronische Kommunikation mit Beförderern, Entsorgern und Behörden im abfallrechtlichen Nachweisverfahren rechtssicherer und ökonomischer besser umzusetzen sein.

Die durch den Vorstand verbindlich eingeführten innerbetrieblichen Regelungen zur Abfallwirtschaft (Ordnung der Kreislaufwirtschaft und Abfallbeseitigung im Forschungszentrum Karlsruhe – Abfallordnung 2007) wurden im Berichtszeitraum weiter intensiv mit den Organisationseinheiten und betroffenen Fachabteilungen kommuniziert. Diese bewährte Organisationsanweisung zur Abfallwirtschaft verlangt insbesondere, dass alle durch das Forschungszentrum verursachten Abfälle einer Zentralstelle (Abfallwirtschaftszentrale) zu überlassen bzw. anzudienen sind. Die Abfallwirtschaftszentrale ist verpflichtet, alle Abfälle ordnungsgemäß zu entsorgen oder entsorgen zu lassen. Die besondere Bedeutung der Kontaktpersonen zum Betriebsbeauftragten für Abfall im Hinblick auf die Vermittlung der abfallwirtschaftlichen Grundsätze sowie zur Optimierung der Abfallwirtschaft bei den Instituten bzw. Organisationseinheiten, ist in der aktualisierten Abfallordnung ausdrücklich herausgestellt. Auf der Grundlage der Abfallordnung 2007 mussten alle Organisationseinheiten die Kontaktpersonen neu und ausdrücklich benennen.

7.1.3 Betriebsbeauftragter für Immissionsschutz

K. Dettmer

Das Forschungszentrum Karlsruhe betreibt mehrere immissionsschutzrechtlich relevante Anlagen, die teilweise der Genehmigungspflicht nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) unterliegen. Hiervon sind die genehmigungsbedürftigen Anlagen für den betrieblichen Immissionsschutz von besonderer Bedeutung. Es handelt sich dabei um die Verbrennungs-

anlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB), die Verbrennungsanlage TAMARA und die Verbrennungsanlage THERESA des Instituts für Technische Chemie, das Abfallzwischenlager sowie das Fernheizwerk.

Für die drei Verbrennungsanlagen sowie das Abfallzwischenlager fordert der Gesetzgeber die Bestellung eines Immissionsschutzbeauftragten. Die Tab. 7-1 zeigt den im Berichtszeitraum vorliegenden Genehmigungsstatus der Anlagen.

Anlage	Immissionsschutzbeauftragter zu bestellen gemäß Anhang zur 5. BImSchV	Genehmigung
Abfallzwischenlager	Ziffer 44	Anzeige nach §67 BImSchG
Verbrennungsanlage der HDB	Ziffer 38	Genehmigung nach §4 BImSchG
Verbrennungsanlage TAMARA	Ziffer 38	Genehmigung nach §4 BImSchG
Verbrennungsanlage THERESA	Ziffer 38	Genehmigung nach §4 BImSchG
Fernheizwerk	-	Änderungsgenehmigung nach §15 BImSchG

Tab. 7-1: Immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtige Anlagen des Forschungszentrums

Die Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe besteht aus einer Schachtofenanlage mit Nachbrennkammer zur Verbrennung von festen und flüssigen Abfällen. Im Berichtszeitraum konnte der routinemäßige Verbrennungsbetrieb der Anlage ohne relevante Probleme aufrechterhalten werden. Alle erforderlichen Wartungsarbeiten wurden ordnungsgemäß ausgeführt. Zu Beginn des Berichtsjahres erfolgte eine Neuinstallation der Überwachungseinrichtungen der Anlage. Die Messapparate wurden gegen neue Geräte, die den aktuellen Qualitätssicherungsstandards in der Rauchgasmesstechnik entsprechen, ausgetauscht. Die Komponenten arbeiteten im Anlagenbetrieb einwandfrei.

Die Versuchs-Verbrennungsanlagen des Instituts für Technische Chemie TAMARA und THERESA befanden sich im Berichtszeitraum im routinemäßigen kampagnenweisen Versuchsbetrieb. Bei der Anlage TAMARA handelt es sich um eine Schub-Rost-Ofenanlage zur Erprobung der Verbrennungsbedingungen für hausmüllähnliche Abfälle. Die Anlage THERESA dient der versuchsweisen Verbrennung spezieller Abfälle in einem Drehrohr. Im Berichtsjahr wurde an dieser Anlage im Bereich der Nachbrennkammer ein neuer Mehrstoffbrenner installiert, der unter anderem für ein Versuchsprogramm zur energetischen Nutzung zerkleinerter Feststoffe zur Verfügung steht. Die Anlagen arbeiteten ohne relevante außenwirksame Betriebsstörungen. Sie wurden vorschriftsgemäß gewartet und überwacht.

Die Anlage zur zentralen Wärmeversorgung des Zentrums, das Fernheizwerk, arbeitete im Berichtszeitraum vorschriftsmäßig. Durch eine im Jahre 2007 installierte Begrenzung der Feuerungswärmeleistung auf < 50 MW unterliegt das Fernheizwerk seit dem Jahr 2007 nicht mehr den Vorschriften der 13. BImSchV für Großfeuerungsanlagen. Die Beurteilung der Emissionen erfolgt nach TA-Luft. Eine jährliche Bilanzierung der Schadstoffemissionen, wie sie früher in diesem Jahresbericht veröffentlicht wurde, ist nicht mehr erforderlich. Die ebenfalls früher zum Fernheizwerk gehörende Turbine (Blockheizkraftwerk) war bereits im Jahr 2007 außer Betrieb genommen und kurz darauf deinstalliert worden.

Zur Erfüllung der gesetzlich vorgeschriebenen Kontrollpflichten des Immissionsschutzbeauftragten wurden regelmäßige Begehungen der immissionsschutzrechtlich relevanten Anlagen durchgeführt und Informationen mit den Betreibern über gesetzliche Rahmenbedingungen, Anlagenänderungen und aktuelle Betriebserfahrungen ausgetauscht. Als Grundlage für die Kontrollen dienten die Genehmigungen, Auflagen, sowie die vorhandenen gutachterlichen Überwachungsprotokolle. Immissionsschutzrechtliche Beratung fand unter anderem auch in dem aktuellen Projekt des Forschungszentrums zur Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse „bioliq“ statt.

7.1.4 Betriebsbeauftragter für Gewässerschutz

K. Dettmer

Das Forschungszentrum Karlsruhe betreibt ein umfangreiches Trennkanalisationssystem. Es existieren separate Netze für häusliches Schmutzwasser (Sanitärabwasser), für Abwasser aus Werkstätten, Labors und anderen technischen Bereichen (Chemie-Abwasser) sowie für Regenwasser. Die Ableitung des Regenwassers erfolgt über mehrere Schwer- und Leichtstoffabscheider in den Hirschkanal als Vorfluter. Die anderen Abwasserarten werden in zwei unterschiedlichen Kläranlagen behandelt. Es handelt sich hierbei um eine biologische Kläranlage mit einem Nitrifikations- / Denitrifikations-Prozess, sowie eine chemische Kläranlage mit Behandlungsmöglichkeiten durch Fällung und Flockung, Oxidation oder Sorption. Sowohl das gereinigte Abwasser der Kläranlagen des Forschungszentrums, als auch das Abwasser der Kläranlage der Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen gelangen über eine gemeinsame Vorflutleitung in den Rhein als Vorfluter.

Im Berichtszeitraum konnten die Bedingungen und Auflagen aus der wasserrechtlichen Erlaubnis und Genehmigung ohne Beanstandung eingehalten werden. Die beiden Kläranlagen arbeiteten bestimmungsgemäß. Die routinemäßigen Prüfungen sowie die Wartungs- und Reinigungsarbeiten an den Anlagen und den Abwassernetzen wurden entsprechend der Vorschriften durchgeführt.

Neben den Überwachungsaufgaben an den Abwassersystemen fanden im Rahmen des betrieblichen Gewässerschutzes regelmäßige Kontrollen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen statt. Es wurden Begehungen von Anlagen, sowie wiederkehrende Prüfungen durchgeführt und Maßnahmen zur Umsetzung der rechtlichen Vorgaben getroffen. Ferner wurden Baugesuche und Baugenehmigungen im Hinblick auf den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und auf die korrekte Nutzung der Entwässerungssysteme überprüft.

Wasserrechtliche Beratung fand unter anderem auch im aktuellen Projekt des Forschungszentrums zur Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse „bioliq“ statt.

Die zuständigen Personen der einzelnen Organisationseinheiten erhielten Informationen über die innerbetriebliche Umsetzung der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen. Neben einem persönlichen Fortbildungsangebot standen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Organisationseinheiten ausführliche Informationen über die Aspekte des betrieblichen Umweltschutzes im Intranet des Forschungszentrums Karlsruhe zur Verfügung.

7.2 Emissions- und Umgebungsüberwachung

Die Überwachungsaufgaben der Hauptabteilung Sicherheit im Bereich „Emissions- und Umgebungsüberwachung“ werden von den Abteilungen „Technisch-administrative Beratung und Genehmigungen“ (HS-TBG) und Kompetenzerhalt im Strahlenschutz (HS-KES) sowie der Arbeitsgruppe Operationeller Strahlenschutz wahrgenommen. Sie umfassen vor allem die Überwachung der Emissionen radioaktiver und nicht-radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus dem Forschungszentrum Karlsruhe und die Überwachung der Immissionen in seiner Umgebung. Überwachungsziel ist der auf Messungen und begleitende Berechnungen gestützte Nachweis der Einhaltung der umwelt- und strahlenschutzrechtlich vorgegebenen Grenzwerte und darüber hi-

nausgehender Auflagen der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden. Ausführliche Berichte über die Ergebnisse der Abluft-, Abwasser- und Umgebungsüberwachung werden den zuständigen Landesbehörden in Baden-Württemberg regelmäßig übersandt.

Die Ableitungen mit der Fortluft aller sowohl nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) als auch nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) genehmigungsbedürftigen Emittenten des Forschungszentrums werden von der Koordinierungsstelle Abluft bei HS-TBG erfasst und kontrolliert. Genehmigungsrechtliche Aspekte der Anlagen, die nach BImSchG betrieben werden, wurden bereits in Kap. 7.1.3 erläutert. Die von den jeweiligen Betreibern erhobenen Emissionsdaten werden HS-TBG jährlich mitgeteilt und in Kap. 7.2.1.1 aufgeführt und bewertet. Die radiologische Fortluftüberwachung erfolgt auf der Grundlage eines sog. Abluftplanes, in dem die zulässigen Ableitungen der verschiedenen Emittenten hinsichtlich der zu überwachenden Radionuklide bzw. Nuklidgruppen individuell festgeschrieben sind. Zur Kontrolle der Einhaltung der Bestimmungen des Abluftplanes und zur Bilanzierung der abgeleiteten Radioaktivität werden alle im Bereich des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Fortluftproben in den physikalischen und chemischen Messlabors von HS-KES gemessen. Struktur, Umfang und Ergebnisse der routinemäßigen Fortluftüberwachung sind in Kap. 7.2.1.2 und die Ergebnisse der Dosisberechnungen für die Umgebung auf der Grundlage der bilanzierten Ableitungen in Kap. 7.2.1.3.6 dieses Berichts dargestellt.

Die Überwachung des auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Abwassers hinsichtlich radioaktiver Stoffe wird von HS-KES, hinsichtlich nicht-radioaktiver Stoffe von BTI-V durchgeführt. Die Mengen dieser Stoffe, die mit dem Abwasser aus den Kläranlagen des Forschungszentrums in den Vorfluter abgegeben werden, werden durch Bilanzierungsmessungen erfasst. Die Ergebnisse sind in den Kapiteln 7.2.2.1 und 7.2.2.2 wiedergegeben. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe wird zudem die Strahlenexposition, die sich aus der Ableitung ergibt, abgeschätzt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 7.2.2.3 aufgeführt.

Das Umgebungsüberwachungsprogramm umfasst sowohl die Messung der äußeren Strahlung mit Hilfe von Festkörperdosimetern und Dosisleistungs-Messstationen als auch die Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes von Probenmaterialien aus verschiedenen Umweltmedien wie Luft, Niederschlag, Boden und Bewuchs, landwirtschaftliche Produkte, Sediment, Oberflächenwasser, Grund- und Trinkwasser. Eine zusammenfassende Darstellung des Programms und der Ergebnisse der Umgebungsüberwachung erfolgt in Kapitel 7.2.3.

7.2.1 Fortluftüberwachung

A. Wicke

7.2.1.1 Ableitung nicht-radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2008

7.2.1.1.1 Verbrennungsanlage der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe

U. Hoeppener-Kramar (HDB)

Die bei der HDB angelieferten und erzeugten brennbaren festen und flüssigen radioaktiven Reststoffe wurden im Jahr 2008 in der Anlage VP 10 verbrannt. Dabei wurden 1423 m³ α- und β-kontaminierte Feststoffe und parallel dazu 8,6 m³ α- und β-kontaminierte Öle und Lösungsmittel in 3945 Betriebsstunden verarbeitet.

Die Emissionsüberwachung von nicht-radioaktiven Stoffen erfolgt mittels Messgeräten, die als eignungsgeprüft nach den Richtlinien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zugelassen sind. Für jeden Schadstoff wird täglich ein Protokoll erstellt, in dem die Häufigkeitsverteilung der Halbstunden- und Tagesmittelwerte für Konzentration und Massenstrom sowie Angaben über Betriebs- und Anlagenzustände enthalten sind.

Im Jahr 2008 wurde die Anlage erneuert, technisch abgenommen und kalibriert.

Tab. 7-2 gibt einen Überblick über die zulässigen Schadstoffkonzentrationen, die beim Betrieb im Jahre 2008 gemessenen Konzentrationen sowie über die Gesamtableitung. Die Messergebnisse der Dioxin-Messung lagen weiterhin unter 0,01 ng/m^3 I-TE-Äquivalent. Ergänzend wurden auch Schwermetallmessungen durchgeführt.

Schadstoff	Konzentrations-grenzwert nach 17. BImSchV[1)] mg/Nm³	gemessene Konzentration mg/Nm³	Emissions-Fracht Mg
HCl	10	0,04*	0,00012
SO_2	50	1,99*	0,0062
CO	50	17,7*	0,0556
Staub	10	0,02*	0,00005
Gesamt-C	10	0,46*	0,00144
NO_X	200	125,2*	0,393
HF	1	<0,05**	-
PCDD/PCDF	0,1 ng/Nm³	0,007 ng/Nm³**	-
Hg	0,05	0,0004**	-
Summe Staubinhalt und Filtergängig Cd und Tl	0,05	0,0016**	-
Summe Staubinhalt und Filtergängig Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5	0,013**	-

[1)] Tagesmittelwerte * Jahresmittelwerte **gemittelt über 3 Tage

Tab. 7-2: Emissionsdaten im Jahr 2008 für die Verbrennungsanlage der HDB

7.2.1.1.2 Versuchsanlagen TAMARA und THERESA

B. Zimmerlin (ITC-TAB)

Im Jahr 2008 wurden an den Versuchs-Müllverbrennungsanlagen TAMARA und THERESA jeweils eine dreiwöchige Versuchskampagne durchgeführt:

In Tab. 7-3 sind die gemittelten Massenkonzentrationen der emittierten Schadstoffe für jede Anlage aufgeführt. Gemäß 17. BImSchV sind die Schadstoffkonzentrationen auf einen Sauerstoffgehalt von 11 % zu normieren, sofern der gemessene Sauerstoffgehalt im Abgas über dem Bezugssauerstoffgehalt liegt. Als Vergleich dienen die Emissionsgrenzwerte nach der 17. BImSchV (Tagesmittelwerte) in der zweiten Spalte.

Alle Emissionen liegen unter den vorgeschriebenen Grenzwerten.

Schadstoff	Konzentrations-grenzwert nach 17. BImSchV[1] mg/Nm³	Schadstoffkonzentration in mg/Nm³ trocken, normiert auf 11 % O_2[2]	
		TAMARA	THERESA
HF	1	< 0,3	≤ 0,3
HCl	10	< 0,3	≤ 0,7
SO_2	50	6,2	≤ 1,1
NO_2	200	96	96
CO	50	5,4	29
C_{ges}	10	< 1,0	8,3
Staub	10	0,5	0,7
Hg	0,03	0,006	≤ 0,001
Staubinhaltsstoffe Cd und Tl	0,05	< 0,004	0,005
Staubinhaltsstoffe Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5	0,021	0,043
Staubinhaltsstoffe As, Benzo(a)pyren, Cr, Co, Cu	0,05	0,016	n.n.[3]
PCDD/PCDF	0,1 ng/Nm³	< 0,001 ng/Nm³	0,001 ng/Nm³

[1] Tagesmittelwerte [2] gemäß 17. BImSchV nur, wenn O_2-Gehalt > 11% [3] nicht nachweisbar

Tab. 7-3: Emissionsdaten der Versuchsanlagen TAMARA und THERESA im Jahr 2008

7.2.1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2008

A. Wicke, B. Messerschmidt

Im Rahmen der radiologischen Überwachungsaufgaben sind für die Fortluft entsprechend den „Grundsätzen für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (Stand: August 1999)“ die Aktivitätsabgaben der einzelnen Emittenten zu kontrollieren und zu bilanzieren. Dies geschieht auf der Grundlage eines von der Koordinierungsstelle Abluft/HS-TBG erstellten und vom Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg genehmigten „Abluftplans“. Dieser Abluftplan enthält für die einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe die zulässigen Jahres-, Wochen- oder Tagesableitungen, aufgeschlüsselt nach Radionukliden oder Radionuklidgruppen. Die Werte für den Abluftplan 2008 waren so festgelegt, dass rechnerisch die potentielle Strahlenexposition bei Ausschöpfung der dort angegebenen zulässigen Ableitungen die in § 47 der Strahlenschutzverordnung vorgeschriebenen Dosisgrenzwerte deutlich unterschreitet.

Im Abluftplan und bei der Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen werden die folgenden Nuklidgruppen und Einzelnuklide unterschieden:

A_{AK}	Schwebstoffe mit kurzlebiger α-Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)
A_{AL}	Schwebstoffe mit langlebiger α-Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)
A_{BK}	Schwebstoffe mit kurzlebiger β-Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)
A_{BL}	Schwebstoffe mit langlebiger β-Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)
E	radioaktive Edelgase
G_K	kurzlebige radioaktive Aktivierungsgase
I	radioaktive Iodisotope
H-3	Tritium
C-14	Kohlenstoff-14

Die Einführung von Nuklidgruppen bedeutet keinen Verzicht auf die Bilanzierung der Ableitungen von einzelnen Radionukliden. Sie ist jedoch bei verschiedenen Emittenten notwendig, da bei diesen einerseits das Emissionsspektrum nicht vorhergesagt werden kann, andererseits aber zulässige Ableitungen vorgegeben werden müssen. Die Emittenten-spezifischen Definitionen der Nuklidgruppen werden in Kap. 7.2.1.3.5 aufgeführt und begründet. Im Abluftplan für das Jahr 2008 waren Genehmigungswerte für 22 Emittenten ausgewiesen (siehe Abb. 7-3).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ableitungen über insgesamt 27 Emissionsstellen erfolgen. Die Zahl 22 ergibt sich dadurch, dass im Fall sehr nahe beieinander liegenden Emissionsstellen zur Vereinfachung der Ausbreitungsrechnungen mehrere zu einem Emittenten zusammengefasst wurden:

HDB:	Kamine Bau 548 Ost und West
IMF-II-FML:	Kamine Bau 702 und 709
ITU:	Kamine Bau 802, 806 und 807
WAK:	Kamine Bau 1503 und 1532

Im April 2008 wurde wegen Aufhebung des Kontrollbereichs die Fortluftmessstelle IK-Zyklotron KIZ stillgelegt.

Die Ermittlung der radioaktiven Ableitungen der zum Forschungszentrum Karlsruhe GmbH gehörenden Emittenten erfolgt abteilungsübergreifend durch die Mitarbeiter von HS-Operationeller Strahlenschutz sowie der HS-Abteilungen HS-KES und HS-TBG. Dabei werden die zur Bilanzierung benutzten Filter, Iodkohlepatronen, C-14- und Tritiumsammler durch Mitarbeiter des Operationellen Strahlenschutzes vor Ort gewechselt und den physikalischen und chemischen Messlabors von HS-KES zur Auswertung zugeleitet (siehe Abb. 7-4). Die Ergebnisse der Messstellen für radioaktive Gase werden vor Ort registriert und der Koordinierungsstelle übermittelt. Wartung, Reparatur, Kalibrierung und Wiederkehrende Prüfungen der für die Fortluftüberwachung eingesetzten Geräte werden von HS-Mitarbeitern oder von ihnen beauftragte Fremdfirmen durchgeführt. Die Fortluftüberwachung der Emittenten am Standort, die nicht vom Forschungszentrum Karlsruhe GmbH betrieben werden, wie WAK, ITU und ZAG, erfolgt durch die zuständigen Betreiber. Die Messergebnisse werden der Koordinierungsstelle Abluft als bilanzierende Stelle bei HS-TBG mitgeteilt. Die Fortluftproben der WAK und ZAG werden im Auftrag vom Physikalischen Messlabor bei HS-KES ausgewertet.

Einzelheiten zur Messung und Bilanzierung von radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft sind aus Kap. 7.2.1.2 ersichtlich. Über die aufgrund dieser Ableitungen in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe rechnerisch ermittelte Strahlenexposition wird in Kap. 7.2.1.3 berichtet. Bei der Dosisberechnung wurde auf ausdrücklichen Wunsch der zuständigen Aufsichtsbehörde die derzeit noch rechtsgültige „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung (alt)“ angewandt.

Die Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen erfolgt durch Auswertung der in den Fortluftmessstellen eingesetzten Sammler. Für die Überwachung der Ableitung von radioaktiven Schwebstoffen werden Glasfaserfilter, von Iod Aktivkohle und von Tritium oder C-14 Moleku-

larsiebe eingesetzt. Eine Ausnahme bilden die radioaktiven Gase, deren Bilanzierung durch Direktmessung erfolgt. Im Jahr 2008 belief sich das Probenaufkommen auf eine Zahl von insgesamt 1996 (siehe Abb. 7-2).

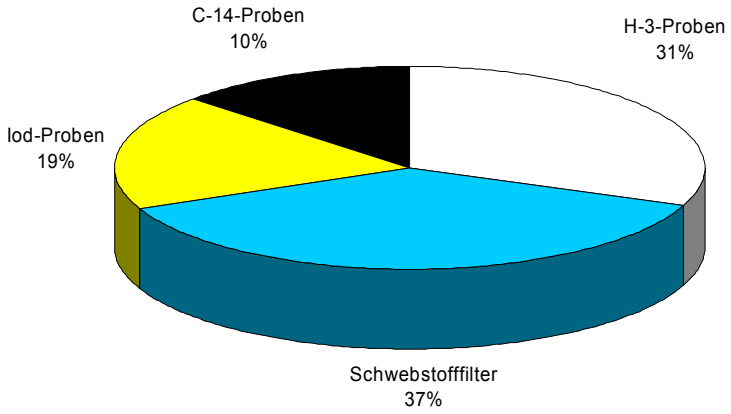


Abb. 7-2: Probenaufkommen in der Fortluftüberwachung im Jahr 2008 (Gesamtzahl 1996)

Alle Messergebnisse wurden auf der Grundlage einer wöchentlichen Bilanzierung dokumentiert und der Behörde in Form von Tages-, Wochen-, Quartals- und Jahresberichten mitgeteilt. Zur Bilanzierung wurden nur Messwerte herangezogen, die oberhalb der jeweils erreichten Erkennungsgrenze lagen. Die Bilanzierungswerte für radioaktive Schwebstoffe werden durch Messung der Gesamt-Alpha- und Gesamt-Beta-Aktivität ermittelt. In den Fällen, bei denen sich Hinweise darauf ergeben, dass bei erhöhten Kurzzeitabgaben die zulässigen Wochen- oder Tageswerte erreicht worden sein könnten, werden nuklidspezifische Messungen vorgenommen.

Die Radioiodableitungen werden durch gammaspektrometrische Analyse der Aktivkohlefilter ermittelt. Um die potenzielle Schilddrüsendosis bei Ableitung mehrerer Iodisotope zu begrenzen, ist gemäß Abluftplan folgende Summenformel einzuhalten:

$$\sum_i \frac{A_i}{A_{i,zul.}} \leq 1$$

Dabei bedeuten:

i	Nuklidindex
A_i	Aktivitätsabgabe für das Iodisotop i
$A_{i,zul.}$	zulässige Ableitung für das Iodisotop i

In Tab. 7-4 werden für alle Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe, geordnet nach aufsteigenden Gebäudenummern und den jeweils zu berücksichtigenden Nukliden und Nuklidgruppen, die im Jahr 2008 gemäß Abluftplan maximal zulässigen Ableitungen (Wochen- und Jahreswerte) mit den im Berichtsjahr und im Vorjahr bilanzierten Ableitungen verglichen. Im Berichtsjahr wurden die zulässigen Tages- oder Jahresableitungen in allen Fällen eingehalten. Die zulässigen Wochenwerte wurden in einem Fall knapp überschritten, und zwar in der 15. Kalenderwoche um 7 % bei der Ableitung von Aktivierungsgasen des Zyklotron ZAG Bau 351. Nachdem in der 18. Kalenderwoche bei dem gleichen Emittenten der über sechs Monate gleitende 50 %-Jahreswert für die Aktivierungsgase ebenfalls überschritten wurde, erfolgte mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde mit Wirkung vom 1. Juni 2008 eine Anhebung der zulässigen Jahresableitung von $2 \cdot 10^{13}$ Bq auf $3 \cdot 10^{13}$ Bq.

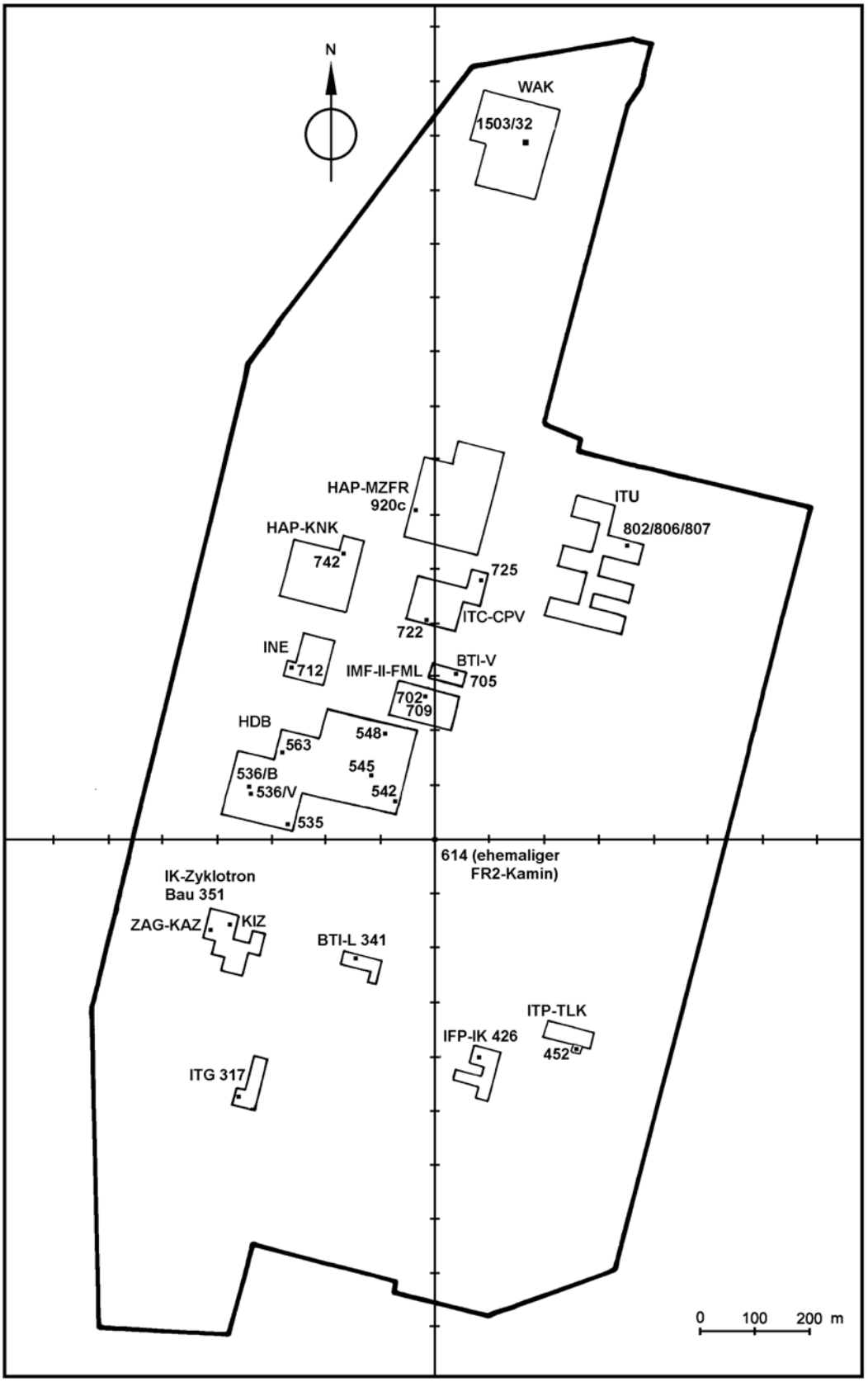


Abb. 7-3: Emittenten des Standortes „Forschungszentrum Karlsruhe"

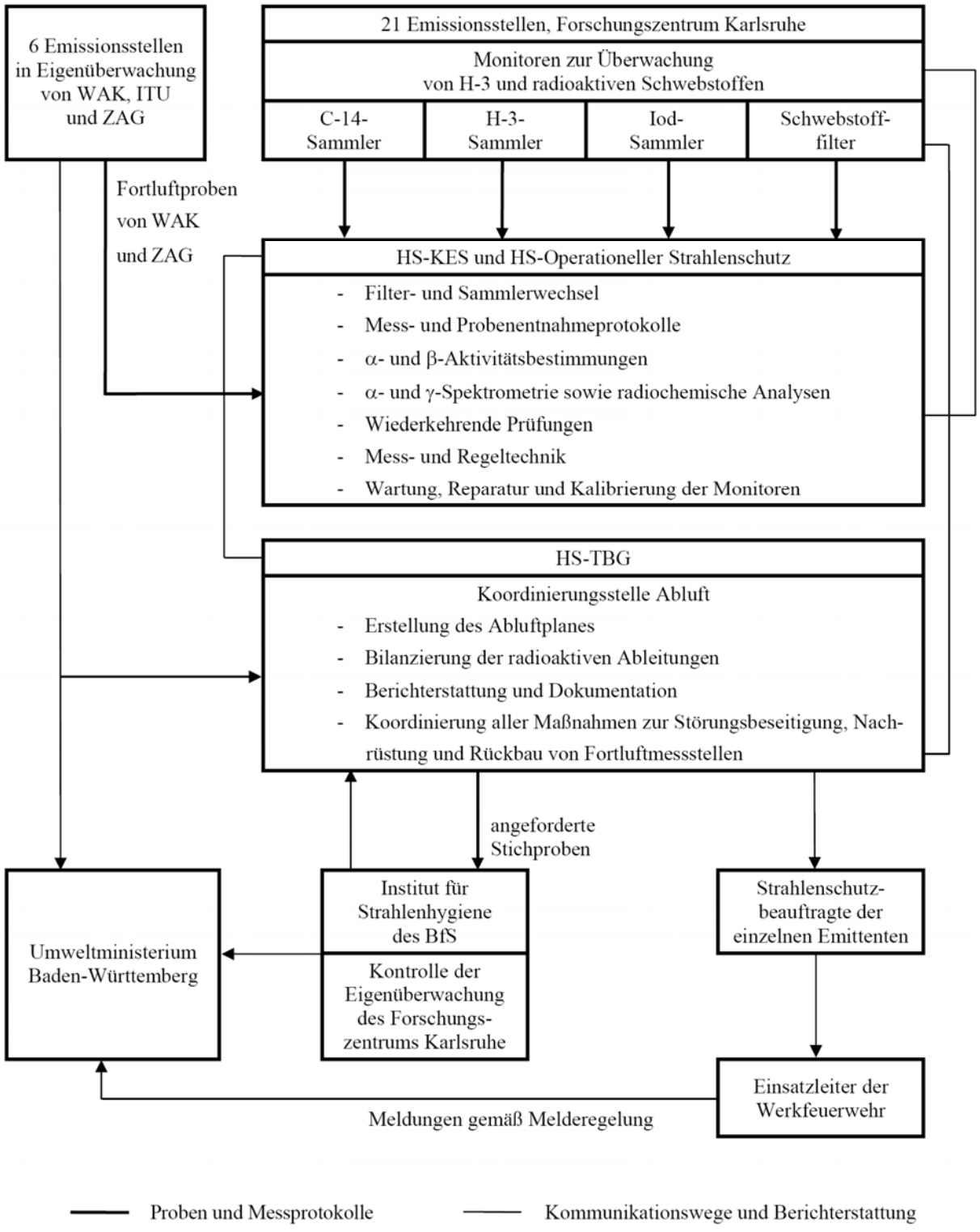

6 Emissionsstellen in Eigenüberwachung von WAK, ITU und ZAG
21 Emissionsstellen, Forschungszentrum Karlsruhe
Monitoren zur Überwachung von H-3 und radioaktiven Schwebstoffen
C-14-Sammler
H-3-Sammler
Iod-Sammler
Schwebstoff-filter
Fortluftproben von WAK und ZAG
HS-KES und HS-Operationeller Strahlenschutz
- Filter- und Sammlerwechsel
- Mess- und Probenentnahmeprotokolle
- α- und β-Aktivitätsbestimmungen
- α- und γ-Spektrometrie sowie radiochemische Analysen
- Wiederkehrende Prüfungen
- Mess- und Regeltechnik
- Wartung, Reparatur und Kalibrierung der Monitoren
HS-TBG
Koordinierungsstelle Abluft
- Erstellung des Abluftplanes
- Bilanzierung der radioaktiven Ableitungen
- Berichterstattung und Dokumentation
- Koordinierung aller Maßnahmen zur Störungsbeseitigung, Nachrüstung und Rückbau von Fortluftmessstellen
angeforderte Stichproben
Umweltministerium Baden-Württemberg
Institut für Strahlenhygiene des BfS
Kontrolle der Eigenüberwachung des Forschungszentrums Karlsruhe
Strahlenschutzbeauftragte der einzelnen Emittenten
Einsatzleiter der Werkfeuerwehr
Meldungen gemäß Melderegelung
Proben und Messprotokolle
Kommunikationswege und Berichterstattung

Abb. 7-4: Fortluftüberwachung im Forschungszentrum Karlsruhe - Ablauf und Zuständigkeiten

Emittent Bau-Nr. Emissions-höhe	Nuklid/ Nuklid-gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2008		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions-maximum des Emittenten
				2008	2007	
		Bq/Woche	Bq/a	Bq	Bq	µSv
ITG Bau 317 14 m	A_{BL}		1,0 E06	1,6 E05	4,0 E04	< 0,001
BTI-L Bau 341 15 m	A_{AL} A_{BL}		1,0 E05 1,0 E07	1,4 E03 7,2 E04	1,8 E03 7,1 E04	< 0,001
ZAG Bau 351 KAZ 15 m	A_{AL} A_{BK} A_{BL} $E+G_K$ I-123 I-125	5,0 E03 5,0 E08 5,0E06 1,5 E12 5,0 E08 5,0 E05	1,0 E05 1,0 E10 1,0 E08 3,0 E13 1,0 E10 1,0 E07	0 1,1 E06 1,5 E04 1,8 E13 6,4 E07 6,4 E04	0 - 3,4 E03 1,2 E13 1,9 E08 1,9 E05	1,77
IK - Zyklotron Bau 351 KIZ, 36 m	A_{BL}		5,0 E07	3,6 E03	7,7 E04	< 0,001
IFP und IK Bau 424-426 und 434 10 m	E H-3		3,0 E11 2,0 E11	3,0 E04 3,0 E03	4,0 E04 4,0 E03	< 0,001
ITP-TLK Bau 452 50 m	H-3	2,0 E12	4,0 E13	3,7 E11	1,4 E11	0,022
HDB Bau 535 I 16,5 m	H-3		1,0 E11	6,9 E07	5,3 E08	< 0,001
HDB Bau 536/V (Ver-brennungs-anlage) 70 m	A_{AL} A_{BL} H-3 C-14 I-125 I-129 I-131 E	2,0 E06 1,0 E09 2,0 E12 7,0 E10 1,5 E07 1,5 E07 2,0 E07 1,0 E11	4,0 E07 2,0 E10 4,0 E13 1,4 E12 3,0 E08 3,0 E08 4,0 E08 2,0 E12	0 1,0 E06 6,1 E12 5,3 E10 0 0 0 2,5 E09	1,5 E03 1,0 E06 2,2 E12 2,6 E10 0 0 0 -	0,43

„0" = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze
„–" = keine Ableitungen

Tab. 7-4: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2008 und 2007

Emittent Bau-Nr. Emissions-höhe	Nuklid/ Nuklid-gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2008		Bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions-maximum des Emittenten
				2008	2007	
		Bq/Woche	Bq/a	Bq	Bq	µSv
HDB Bau 536/B (Betriebs-räume) 16,5 m	A_{AL} A_{BL} H-3 I-125 I-129 I-131		4,0 E05 4,0 E07 5,0 E11 8,0 E05 1,0 E06 1,0 E06	0 0 2,3 E10 0 0 0	0 3,2 E04 1,2 E10 0 0 0	0,003
HDB Bau 542 8 m	A_{AL} A_{BL} H-3 I-129		4,0 E05 4,0 E07 1,0 E10 1,0 E04	3,4 E02 1,1 E04 - -	7,4 E02 1,3 E04 7,5 E08 -	< 0,001
HDB Bau 545 20 m	A_{AL} A_{BL} H-3 C-14 I-125 I-129 I-131	1,0 E05 5,0 E07 2,0 E11 2,5 E09 2,5 E06 3,0 E05 5,0 E06	2,0 E06 1,0 E09 4,0 E12 5,0 E10 5,0 E07 6,0 E06 1,0 E08	3,2 E02 7,1 E04 1,2 E08 0 0 0 0	0 2,2 E04 0 0 0 0 0	< 0,001
HDB Bau 548 Ost und Bau 547 15 m HDB Bau 548 West 15 m	A_{AK} A_{AL} A_{BL} H-3 C-14 I-125 I-129 I-131 E	5,0 E07 1,5 E05 2,0 E07 2,0 E12 2,5 E09 4,0 E06 1,0 E06 4,0 E06 5,0 E10	1,0 E09 3,0 E06 4,0 E08 4,0 E13 5,0 E10 8,0 E07 2,0 E07 8,0 E07 1,0 E12	- 0 8,1 E05 7,2 E11 0 0 6,3 E05 0 4,4 E10	- 0 9,8 E05 8,3 E10 1,8 E09 0 0 0 1,8 E10	0,037
HDB Bau 563 14 m	A_{AL} A_{BL} H-3		1,0 E06 1,0 E07 8,0 E11	1,0 E03 0 6,6 E09	0 0 4,9 E09	0,002

„0" = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze
„–" = keine Ableitungen

Tab. 7-4: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2008 und 2007 (Fortsetzung)

Emittent Bau-Nr. Emissions-höhe	Nuklid/ Nuklid-gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2008		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions-maximum des Emittenten
				2008	2007	
		Bq/Woche	Bq/a	Bq	Bq	µSv
IMF-II-FML Bau 702 60 m und Bau 709 60 m	A_{AL} A_{BL} H-3	2,0 E06 5,0 E07 1,0 E12	4,0 E07 1,0 E09 2,0 E13	5,4 E02 4,7 E04 1,3 E11	7,3 E02 9,5 E04 1,4 E11	0,003
BTI-V Wäscherei Bau 705 5,5 m	A_{AL} A_{BL}		1,0 E06 1,0 E08	1,4 E03 1,4 E04	1,2 E03 1,3 E04	< 0,001
INE Bau 712 60 m	A_{AL} A_{BL} H-3 E I-125 I-126 I-129 I-131		1,0 E06 1,0 E08 1,0 E11 2,0 E11 2,0 E07 2,0 E07 1,0 E06 3,0 E07	0 3,8 E04 1,9 E08 - - - - -	0 1,7 E04 0 - - - - -	< 0,001
ITC-CPV Bau 722 60 m	A_{AL} A_{BL}		1,0 E06 3,0 E08	0 9,2 E03	0 0	< 0,001
ITC-CPV Bau 725 10 m	A_{AL} A_{BL}		1,0 E04 1,0 E05	5,6 E02 7,9 E03	0 0	< 0,001
HAP-KNK Bau 742 16 m	A_{BL} H-3	2,5 E06 1,0 E12	5,0 E07 2,0 E13	9,4 E04 4,0 E09	2,9 E04 4,2 E09	0,001
ITU Bau 802, 806, 807 50 m	A_{AK} A_{AL} A_{BL} E C-14 I-129 I-131 H-3	1,6 E09 5,0 E04 2,0 E07 2,0 E12 1,0 E09 5,0 E04 1,0 E06 5,0 E10	3,2 E10 1,0 E06 4,0 E08 4,0 E13 2,0 E10 1,0 E06 2,0 E07 1,0 E12	- 1,7 E04 1,2 E05 5,0 E11 - - - -	- 1,2 E04 7,8 E04 4,2 E11 - - - -	0,002

„0" = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze „–" = keine Ableitungen

Tab. 7-4: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2008 und 2007 (Fortsetzung)

Emittent Bau-Nr. Emissions-höhe	Nuklid/ Nuklid-gruppe	zulässige Ableitungen gemäß Abluftplan 2008		bilanzierte Ableitungen		Effektivdosis am Immissions-maximum des Emittenten
				2008	2007	
		Bq/Woche	Bq/a	Bq	Bq	µSv
HAP-MZFR Bau 920c 99,5 m	A_{AL} A_{BL} H-3 C-14	5,0 E04 5,0 E07 4,0 E12 5,0 E09	1,0 E06 1,0 E09 8,0 E13 1,0 E11	1,6 E04 6,1 E05 3,1 E11 0	1,3 E04 1,8 E06 2,7 E11 0	0,006
WAK Bau 1503/ 1532 60 m	A_{AL} A_{BL} E H-3 I-129 I-131	 9,0 E11 5,0 E06 3,1 E07	7,4 E07 3,7 E09 1,0 E12 1,8 E13 1,0 E08 6,2 E08	1,1 E05 1,1 E07 1,0 E11 1,5 E10 5,2 E05 1,6 E06	9,0 E04 6,0 E06 1,0 E11 1,2 E10 6,3 E05 1,8 E06	0,050

„0" = alle gemessenen Werte lagen unterhalb der Erkennungsgrenze

Tab. 7-4: Ableitungen radioaktiver Stoffe der einzelnen Emittenten des Forschungszentrums Karlsruhe in die Atmosphäre in den Jahren 2008 und 2007 (Fortsetzung)

In den Abb. 7-5 a-g sind die monatlichen Radioaktivitätsableitungen mit der Fortluft im Jahr 2008 graphisch dargestellt. Es wird – aufgeschlüsselt nach Nuklidgruppen – unterschieden zwischen den Genehmigungsinhabern ITU, WAK, ZAG und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Für die Einrichtungen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH sind die Ableitungen für den Emissionsschwerpunkt HDB (7 Emittenten) und die 12 übrigen Emittenten getrennt dargestellt.

Graphisch dargestellt sind die Ableitungen der radioaktiven Schwebstoffe, und zwar getrennt nach denjenigen mit Alpha- und mit Betaaktivität, der radioaktiven Edelgase und kurzlebigen Aktivierungsgase sowie der Einzelnuklide I-129, I-131, H-3 und C-14.

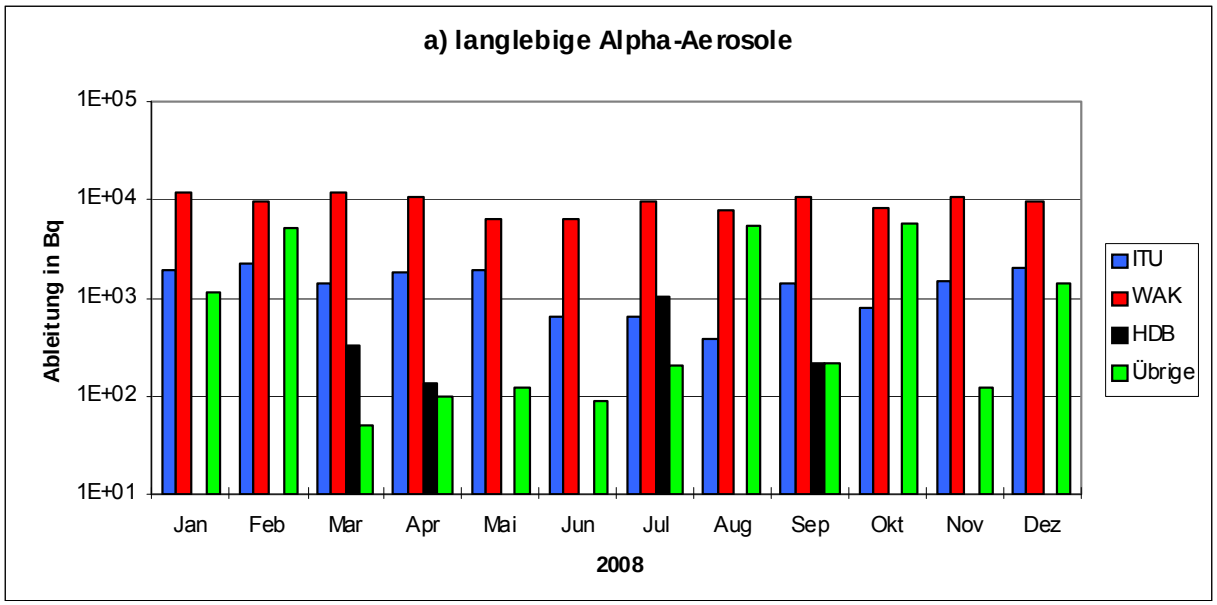
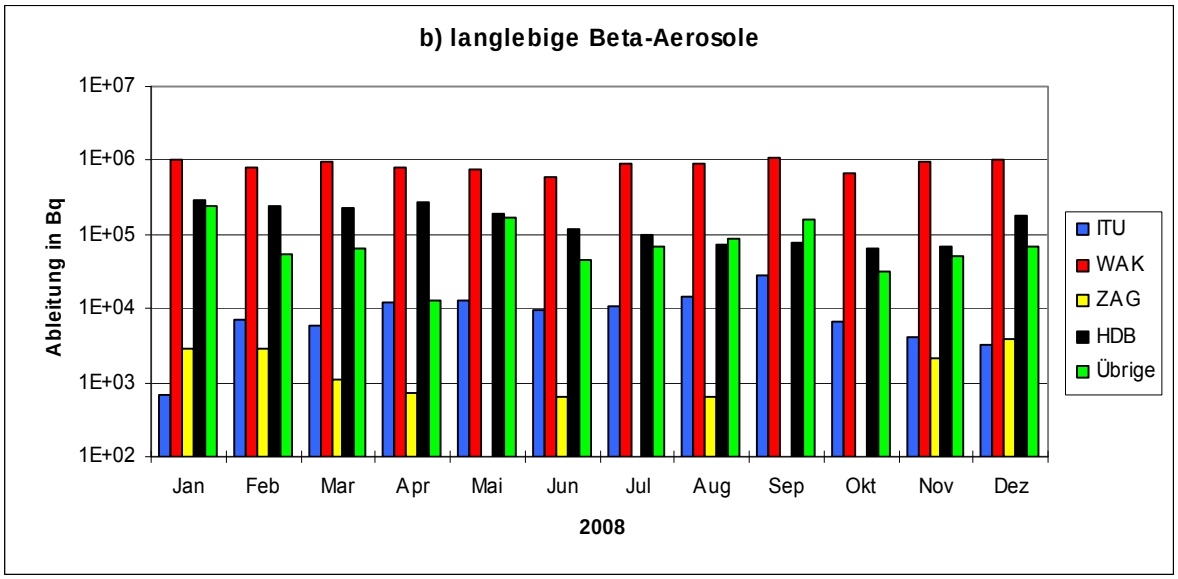
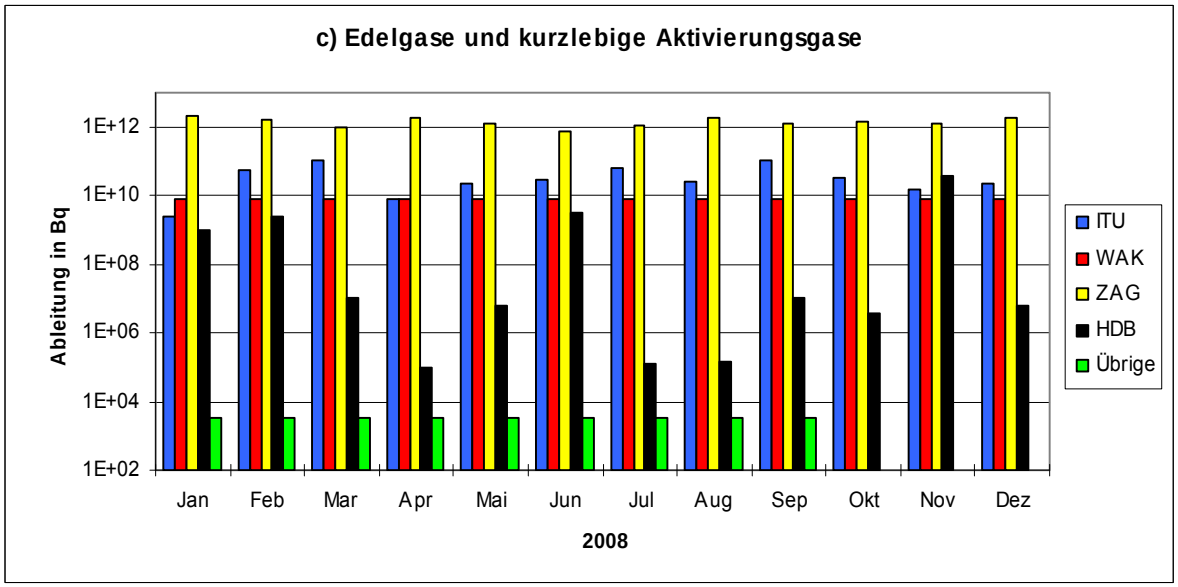


Abb. 7-5 a: Monatliche Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2008





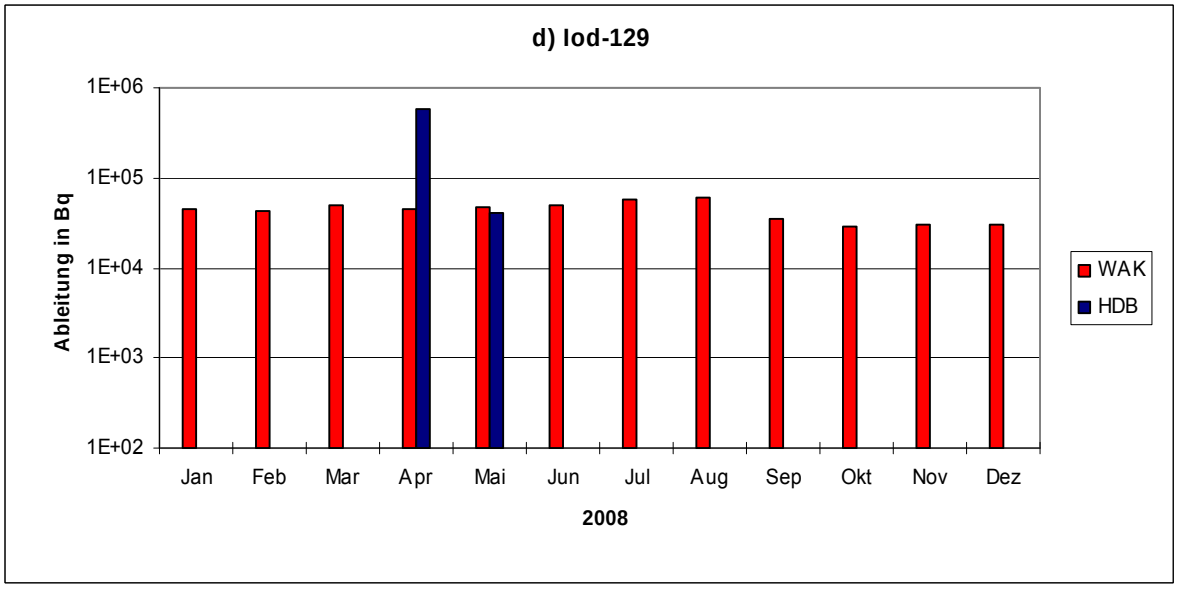
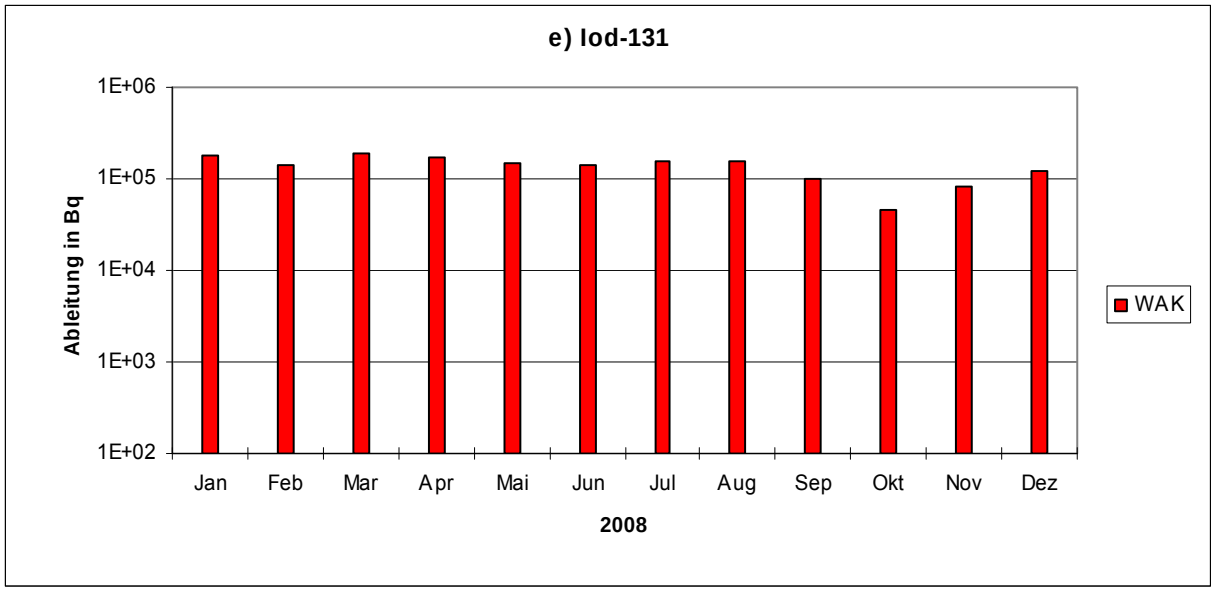
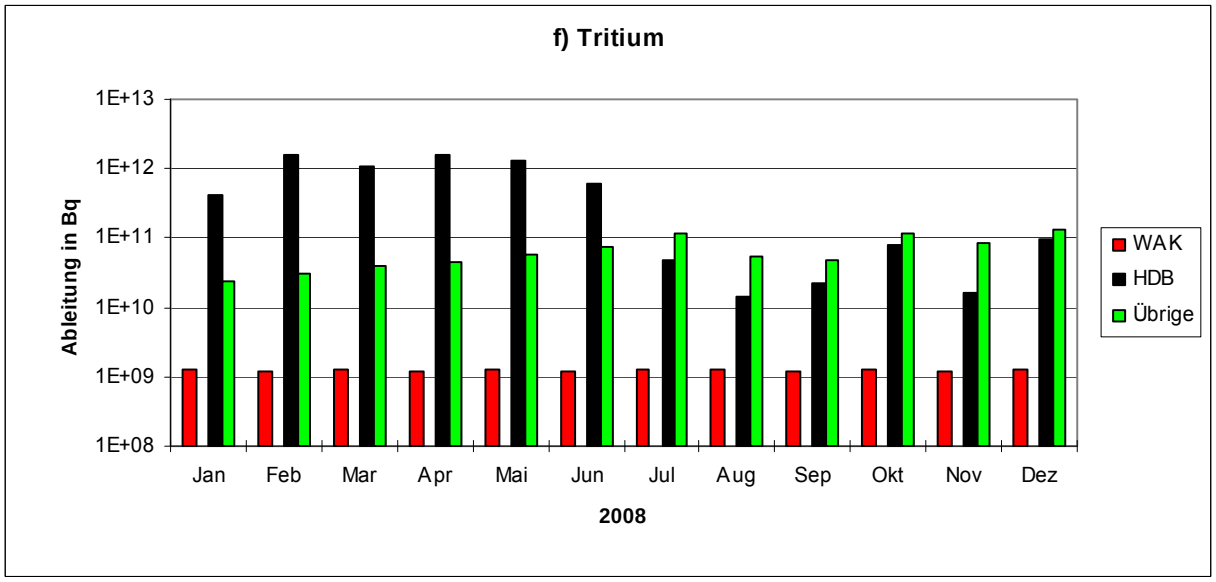


Abb. 7-5 b-d: Monatliche Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2008 (Fortsetzung)





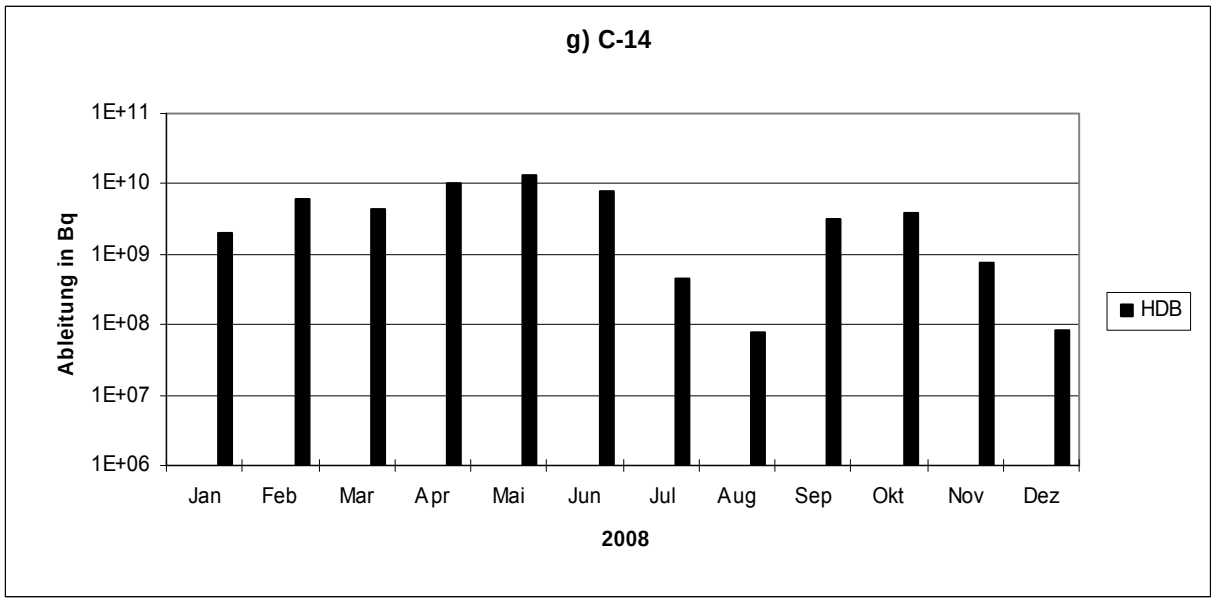


Abb. 7-5 e-g: Monatliche Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2008 (Fortsetzung)

7.2.1.3 Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2008

A. Wicke

7.2.1.3.1 Berechnungsgrundlagen

Die Dosisberechnung erfolgte auf der Grundlage der monatlich bilanzierten Ableitungswerte der im Jahr 2008 zu berücksichtigenden Emittenten (s. Tab. 7-4). Für die Ausbreitungsrechnungen wurden die monatlichen Wetterstatistiken des Standorts verwendet. Die Teilkörper- und Effektivdosen wurden auf der Grundlage der noch rechtsgültigen „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift“ (AVV) zu § 45 der Strahlenschutzverordnung (alt) berechnet. Mit Teilkörper- und Effektivdosen sind im Folgenden bezeichnet:

- bei äußerer Strahlenexposition die Äquivalentdosen im Bezugsjahr,
- bei innerer Strahlenexposition für Erwachsene die 50-Jahre-Folgeäquivalentdosen und für Kleinkinder die 70-Jahre-Folgeäquivalentdosen.

Ziel der Berechnungen ist zu prüfen, in wieweit die errechneten maximal möglichen Individualdosen für die jeweils ungünstigste Einwirkungsstelle in der Umgebung des Standortes unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Expositionspfade im Einklang mit den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerten der Körperdosen stehen. Die Berechnung nach der AVV ist im Gesamtergebnis konservativ. Sie geht u. a. von der Annahme besonderer Verzehrgewohnheiten einer Referenzperson aus. Dabei wird angenommen, dass sich diese Person ausschließlich von Nahrungsmitteln ernährt, deren landwirtschaftliche Ausgangsprodukte am Ort der höchsten Kontamination erzeugt wurden. Bei der Berechnung blieb außer Betracht, ob an den ungünstigsten Einwirkungsstellen tatsächlich die Möglichkeit eines ständigen Aufenthalts gegeben war und ob die betrachteten Nahrungsmittel tatsächlich dort erzeugt wurden.

Die zur Berechnung der Teilkörperdosen und der Effektivdosis durch Inhalation, Ingestion und externer Bestrahlung benötigten Dosisfaktoren wurden entsprechend der Rechenvorschrift dem Bundesanzeiger 185a vom September 1989 entnommen. Um die Auswahl relevanter Klassen für die Lungenretention und Löslichkeit bei Ingestion radioaktiver Schwebstoffe zu ermöglichen, wurden die für die jeweiligen Emittenten dominierenden oder typischen chemischen Formen zu Grunde gelegt, oder – falls unbekannt – konservative Annahmen gemacht. Bei der Berechnung der Dosiswerte wurden die Tochternuklide grundsätzlich mitberücksichtigt.

Die Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift wird im Folgenden spezifiziert, und die benutzten Rechenprogramme werden kurz charakterisiert.

7.2.1.3.2 Meteorologische Daten

Die für die Ausbreitungsrechnung benötigten meteorologischen Daten werden am 200 m hohen Messturm auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe gemessen. Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungskategorie werden halbstündlich gemittelt. Ihre Häufigkeitsverteilungen werden in der Ausbreitungsstatistik zusammengefasst. Die Windrose ist in zwölf 30°-Sektoren eingeteilt. Den Ausbreitungsrechnungen werden die Windgeschwindigkeit und -richtung in 60 m Höhe zu Grunde gelegt. Für andere Emissionshöhen als für die Bezugshöhe von 60 m wird die Windgeschwindigkeit aus dem Windgeschwindigkeitsprofil berechnet. Dazu werden die Exponenten des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils aus der AVV übernommen.

Gemäß AVV muss bei der Ausbreitungsrechnung für Emissionshöhen, die kleiner sind als die doppelte Gebäudehöhe, der Gebäudeeinfluss berücksichtigt werden. Die Gebäudehöhe der zu betrachtenden Emittenten beträgt im Mittel 15 m. Unterhalb einer Emissionshöhe von 30 m (doppelte Gebäudehöhe) wird der Gebäudeeinfluss dadurch berücksichtigt, dass die Ausbrei-

tungsparameter konservativ für die halbe Kaminhöhe gemäß Abschn. 4.6.2 der AVV korrigiert werden. Oberhalb von 30 m werden die Kaminhöhen als effektive Emissionshöhen betrachtet. Die horizontalen und vertikalen Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z werden entsprechend Anhang 7 der AVV aus den dort angegebenen Ausbreitungskoeffizienten ermittelt.

7.2.1.3.3 Ausbreitung und Ablagerung

Bei der Ausbreitungsberechnung wird – abweichend von der AVV – eine azimutale Gleichverteilung nicht der Aktivitätskonzentration, sondern der Windrichtungshäufigkeit innerhalb eines Sektors angenommen. Das ist sachlich richtiger und vermeidet Sprünge an den Sektorgrenzen. Bei der Ermittlung der Ablagerung radioaktiver Stoffe durch Trockendeposition werden die in der AVV angegebenen Depositionsgeschwindigkeiten für Schwebstoffe und elementares Iod berücksichtigt. Bei der Berechnung der Ablagerung durch Niederschlag kommt das standortspezifische Verfahren gemäß Abschnitt 4.2.2.1 der AVV zur Anwendung, wobei der Washoutkoeffizient für jede Niederschlagsintensitätsstufe als proportional zur jeweiligen Niederschlagsintensität angenommen wird. Der Proportionalitätsfaktor c wird aus Tab. 3 Anhang 7 der AVV entnommen. Sowohl bei der Trockendeposition, als auch bei der Ablagerung durch Niederschlag bleiben Effekte durch Abreicherung in der Abluftfahne unberücksichtigt. Dieses Vorgehen ist hinsichtlich der Dosisberechnung konservativ. Die Berechnung der Ausbreitungs- und Washoutfaktoren erfolgt auf der Grundlage der monatlichen Ableitungswerte und der monatlichen meteorologischen Statistik. Bei der Ingestion wird die auf der Pflanze abgelagerte Aktivität nur im Sommerhalbjahr berücksichtigt.

7.2.1.3.4 Rechenprogramme

Die Dosisbeiträge durch Betasubmersion, Inhalation, Ingestion und Gammabodenstrahlung sind im Wesentlichen proportional zur Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft in der Nähe des betrachteten Aufpunktes. Das Berechnungsverfahren für diese Expositionspfade ist daher prinzipiell gleich. Das FORTRAN-Programm ISOLA leistet in Verbindung mit dem FORTRAN-Programm EFFDOS die erforderlichen Rechenoperationen, indem die Dosisbeiträge der Einzelemittenten überlagert und für alle Expositionspfade und Organe ermittelt werden.

Wegen der geringen Schwächung der Gammastrahlung in Luft kann bei der Berechnung der Gamma-Submersionsdosis nicht so vorgegangen werden. Hier muss für jeden Aufpunkt die Gammadosis als Summe der Dosisbeiträge der im Raum verteilten Gamma-Aktivität ermittelt werden. Das FORTRAN-Programm WOLGA errechnet die Gammadosis für einen beliebigen Aufpunkt in der Umgebung eines oder mehrerer Emittenten als Summe der Dosisbeiträge der Aktivität im Raum. Diese Berechnung wird unter Berücksichtigung der Gamma-Energien der dosisrelevanten Radionuklide durchgeführt.

Die Dosisberechnungen selbst erfolgten auf einem PC unter dem Betriebssystem Windows XP mit dem FORTRAN Compiler Visual Fortran 5.0.

7.2.1.3.5 Einteilung der radioaktiven Emissionen in Nuklidgruppen und Einzelnuklide

Zur Dosisberechnung ist es erforderlich, für die in der Bilanzierung angegebenen Nuklidgruppen Leitnuklide oder charakteristische Nuklidgemische festzulegen. Die erforderlichen anlagenspezifischen Festlegungen wurden für das Jahr 2008 überprüft und aktualisiert:

- Nuklidgruppe A_{AK}: Schwebstoffe mit kurzlebiger α-Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)

  Die Ableitung kurzlebiger Rn-220-Folgeprodukte durch HDB 548 und ITU wurde durch das Leitnuklid Pb-212 berücksichtigt. Die chemische Form der Aerosolaktivität ist unbekannt. Für die Lungenretentionsklasse und für die Löslichkeit wurden daher konservative Annahmen getroffen.

- Nuklidgruppe A_{AL}: Schwebstoffe mit langlebiger α-Aktivität (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)

  Die Analysen von Filtern zeigten, dass bei der Mehrzahl der Institute Pu-239 als Leitnuklid gelten kann. Ausnahmen bilden folgende Institute, bei denen vom Umgang her oder aufgrund bekannter Restkontaminationen bestimmte Leitnuklide in Frage kommen:

BTI-L, Bau 341:	Pu-238
ZAG-KAZ, Bau 351:	Ra-226

  Für die HDB wurde aufgrund der Handhabung α-kontaminierter Reststoffe aus der Wiederaufarbeitung ein konservatives Gemisch aus Pu-238 (34 %), Pu-239 (7 %), Pu-240 (9 %), Am-241 (38 %) und Cm-244 (12 %) angenommen. Diese relativen Aktivitätsanteile wurden nach KORIGEN für den Umgang mit kernbrennstoffhaltigen Reststoffen mit einem mittleren Abbrand von 30 000 MWd/t und einer Kühlzeit von 14 Jahren berechnet. Es wird eine Ableitung in nitroser Form angenommen. Bei der Verbrennungsanlage der HDB (Bau 536) und bei der Wäscherei (BTI-V, Bau 705) wird eine Ableitung als Chlorid oder Hydroxid angenommen.

  Bei der Festlegung des Nuklidspektrums für die WAK wurde davon ausgegangen, dass sich die Ableitungen in ihrer Zusammensetzung immer mehr dem Nuklidgemisch der Ableitungen der Lagerungs- und Verdampfungsanlage (LAVA) annähern. Daher wird für die Dosisberechnung das insgesamt konservative Gemisch der LAVA zu Grunde gelegt.

- Nuklidgruppe A_{BK}: Schwebstoffe mit kurzlebiger β-Aktivität (Halbwertszeit < 8 Tage)

  Die Ableitung kurzlebiger β-Aktivität ist nur für das Zyklotron von Bedeutung. Es wird produktionsbedingt folgendes Leitnuklid angenommen:

ZAG-KAZ, Bau 351:	F-18

- Nuklidgruppe A_{BL}: Schwebstoffe mit langlebiger β-Aktivität einschließlich reiner Gammastrahler (Halbwertszeit ≥ 8 Tage)

  Bei Einrichtungen, die sich im Rückbau befinden, bei denen kernbrennstoffhaltige Reststoffe verarbeitet (HDB) oder bei denen mit Restkontaminationen zu rechnen ist, wird grundsätzlich Cs-137 als Leitnuklid angenommen. Ausnahmen bilden folgende Einrichtungen:

BTI-L 341:	Zusammensetzung entspricht gemessenen Kontaminationen in den Lüftungskanälen
HDB 545:	Leitnuklid Ru-106
ITU:	Zusammensetzung der Emissionen entspricht der eines ß-aktiven Spaltproduktgemisches nach KORIGEN unter Annahme eines mittleren Abbrandes von 30 000 MWd/t und einer Kühlzeit > 3 Jahren
WAK:	Bei der Festlegung des Nuklidspektrums für die Ableitungen der WAK wird analog zur Nuklidgruppe A_{AL} das Emissionsspektrum der LAVA zu Grunde gelegt

  Bei folgenden Instituten beschränkt sich der Umgang bzw. die Produktion auf bestimmte Radioisotope:

ITG, Bau 317:	S-35 (org.)
ZAG-KAZ, Bau 351:	Be-7

- Nuklidgruppe E/G_K: Radioaktive Edelgase und kurzlebige Aktivierungsgase

  Bei der HDB Bau 548 und dem ITU wurde für die Dosisberechnung als Bezugsnuklid das radioaktive Edelgas Kr-85 betrachtet, bei IFP/IK das Edelgas Ar-41. Bei den Ableitungen des Zyklotrons (ZAG-KAZ, Bau 351) wurde das kurzlebige Aktivierungsgas N-13 als Leitnuklid zu Grunde gelegt. Bei der WAK wird angenommen, dass sich die Edelgasableitung zu gleichen Teilen aus Kr-87 und Kr-88 zusammensetzt. Die Ableitung von Rn-222 bei der Verarbeitung von radiumhaltigen Reststoffen bei HDB Bau 536 Verbrennung/MAW-Verschrottung wurde radiologisch über das Folgeprodukt Pb-214 berücksichtigt, bei konservativer Annahme eines radioaktiven Gleichgewichts.

- Nuklidgruppe I: Radioaktive Iodisotope

  Die Dosisberechnung wurde mit allen bilanzierten Iodisotopen durchgeführt. Dabei wurde konservativerweise eine Ableitung in elementarer Form zu Grunde gelegt.

- Tritium

  Grundsätzlich wird angenommen, dass Tritium als tritiiertes Wasser bzw. Wasserdampf (HTO) abgeleitet wird. Wird H-3 in Form von HT emittiert, wird in der Regel konservativ ebenfalls eine Ableitung in vollständig oxidierter Form angenommen.

- C-14

  Es wird eine Ableitung in Form von $^{14}CO_2$ zu Grunde gelegt. Bei der Dosisberechnung wurden die Inhalations-Dosisfaktoren für CO_2 und die Ingestions-Dosisfaktoren für organische Verbindungen verwendet.

7.2.1.3.6 Ergebnisse der Dosisberechnung

Unter den beschriebenen Randbedingungen wurden die Teilkörper- und Effektivdosen für Kleinkinder und Erwachsene in der Umgebung berechnet. Die für jeden einzelnen Emittenten berechnete Effektivdosis für Erwachsene am jeweiligen Immissionsmaximum wurde bereits in Tab. 7-4 in der letzten Spalte aufgeführt. Nach Überlagerung der Auswirkungen aller Emittenten ergeben sich rechnerisch – aufgeschlüsselt nach den zu berücksichtigenden Expositionspfaden – für die ungünstigsten Einwirkungsstellen außerhalb des Betriebsgeländes des Forschungszentrums die in Tab. 7-5 aufgeführten maximalen Beiträge zur effektiven Dosis.

Expositionspfad	maximale effektive Dosis	
	für Kleinkinder	für Erwachsene
Inhalation	0,03 µSv*	0,04 µSv**
Ingestion	0,70 µSv*	0,44 µSv**
Gammabodenstrahlung	0,008 µSv	0,007 µSv
Gammasubmersion	2,13 µSv	1,77 µSv
Summe über alle Expositionspfade, rd.	2,9 µSv	2,3 µSv

Tab. 7-5: Maximale rechnerische Effektivdosen in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2008 (70*- bzw. 50**- Jahre Folgedosis)

Die Dosisbeiträge durch Ingestion haben sich gegenüber dem Vorjahr wieder leicht erhöht. Ursache hierfür sind im Wesentlichen die angestiegenen C-14-Ableitungen der HDB-Verbrennungsanlage (Bau 536). Weiterhin hoch ist der Dosisbeitrag durch Gammasubmersion, hervorgerufen durch die Ableitung kurzlebiger Aktivierungsgase bei ZAG-KAZ (Bau 351). Die Einzeler-

gebnisse für die betrachteten Expositionspfade – aufgeschlüsselt nach den in Tab. X2 der Strahlenschutzverordnung (alt) aufgeführten Organen und Geweben – sind für Kleinkinder und Erwachsene in Tab. 7-6 und Tab. 7-7 zusammengestellt.

Die regionale Verteilung der Effektivdosen für Erwachsene in der Umgebung des Forschungszentrums als Summe der Dosisbeiträge aller Expositionspfade am jeweils betrachteten Ort ist in Form von Isodosislinien dargestellt.

Obwohl die in den Tab. 7-6 und Tab. 7-7 angegebenen Werte bereits die Emissionen der WAK mitberücksichtigen, wird gemäß behördlicher Auflage eine gesonderte Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Fortluft der WAK abgeleiteten Aktivität durchgeführt. Die errechneten Körperdosen sind für Kleinkinder und Erwachsene in Tab. 7-8 und Tab. 7-9 zusammengestellt.

Aus den Ableitungen aller Emittenten im Jahr 2008 ergibt sich rechnerisch eine mittlere Effektivdosis für eine erwachsene Person der Bevölkerung im Umkreis von 5 km Radius um das Forschungszentrum von 0,082 µSv und von 0,024 µSv für einen Umkreis von 10 km Radius. Alle für die ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten Teilkörper- und Effektivdosen liegen selbst nach Summation über alle Expositionspfade deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten nach § 47 der Strahlenschutzverordnung.

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in µSv für Kleinkinder					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Bodenstrahlung	Gammasubmersion	Betasubmersion	Summe
Keimdrüsen	0,027	0,68	0,008	2,13	-	2,85
Brust	0,027	0,68	0,010	2,13	-	2,85
Rotes Knochenmark	0,029	0,69	0,008	2,13	-	2,86
Lunge	0,037	0,68	0,009	2,13	-	2,86
Schilddrüse	0,029	1,07	0,009	2,13	-	3,24
Knochenoberfläche	0,062	0,69	0,009	2,13	-	2,89
Haut	0,027	0,68	0,010	2,13	6,81	9,66
Sonstige	0,028	0,69	0,009	2,13	-	2,86
effektive Dosis	0,029	0,70	0,008	2,13	-	**2,87**
ungünstigste Einwirkungsstelle[1]	-565/0	-565/0	420/1470	-640/-370	-641/-370	-

[1] x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2-Kamin (s. Abb. 7-3)

Tab. 7-6: Maximale Körperdosen für Kleinkinder (*70-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 2008

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in µSv für Erwachsene					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Boden-strahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,036	0,42	0,006	1,77	-	2,23
Brust	0,036	0,42	0,008	1,77	-	2,23
Rotes Knochenmark	0,038	0,43	0,006	1,77	-	2,24
Lunge	0,043	0,42	0,007	1,77	-	2,24
Schilddrüse	0,037	0,85	0,008	1,77	-	2,67
Knochenoberfläche	0,093	0,45	0,008	1,77	-	2,32
Haut	0,036	0,42	0,009	1,77	6,81	9,05
Sonstige	0,037	0,44	0,008	1,77	-	2,26
effektive Dosis	0,038	0,44	0,007	1,77	-	**2,26**
ungünstigste Einwirkungsstelle[1]	-565/0	-565/0	420/1470	-640/-370	-640/-370	-

[1] x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2- Kamin (s. Abb. 7-3)

Tab. 7-7: Maximale Körperdosen für Erwachsene (*50-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft des Forschungszentrums Karlsruhe im Jahr 2008

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in µSv für Kleinkinder					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Boden-strahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,001	0,002	0,007	0,016	-	0,026
Brust	< 0,001	0,002	0,008	0,016	-	0,026
Rotes Knochenmark	0,005	0,032	0,007	0,016	-	0,060
Lunge	0,002	0,002	0,007	0,016	-	0,027
Schilddrüse	0,001	0,244	0,008	0,016	-	0,269
Knochenoberfläche	0,049	0,072	0,008	0,016	-	0,145
Haut	< 0,001	0,002	0,009	0,016	0,005	0,032
Sonstige	0,002	0,002	0,007	0,016	-	0,027
effektive Dosis	0,004	0,016	0,007	0,016	-	**0,043**
ungünstigste Einwirkungsstelle[1]	420/1470	420/1470	420/1470	0/1290	420/1470	-

[1] x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2- Kamin (s. Abb. 7-3)

Tab. 7-8: Maximale Körperdosen für Kleinkinder (*70-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft der WAK im Jahr 2008

Körperbereich	maximale Teilkörper- und Effektivdosen in µSv für Erwachsene					
	Inhalation*	Ingestion*	Gamma-Boden-strahlung	Gamma-submersion	Beta-submersion	Summe
Keimdrüsen	0,001	0,006	0,005	0,013	-	0,025
Brust	< 0,001	0,006	0,007	0,013	-	0,026
Rotes Knochenmark	0,006	0,066	0,006	0,013	-	0,091
Lunge	0,001	0,006	0,006	0,013	-	0,026
Schilddrüse	0,001	0,268	0,006	0,013	-	0,288
Knochenoberfläche	0,075	0,162	0,007	0,013	-	0,257
Haut	< 0,001	0,005	0,007	0,013	0,005	0,030
Sonstige	0,001	0,006	0,006	0,013	-	0,026
effektive Dosis	0,004	0,027	0,006	0,013	-	**0,050**
ungünstigste Einwirkungsstelle[1]	420/1470	420/1470	420/1470	0/1290	420/1470	-

[1] x/y-Koordinaten im m, bezogen auf den ehemaligen FR2- Kamin (s. Abb. 7-3)

Tab. 7-9: Maximale Körperdosen für Erwachsene (*50-Jahre-Folgedosis) durch die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft der WAK im Jahr 2008

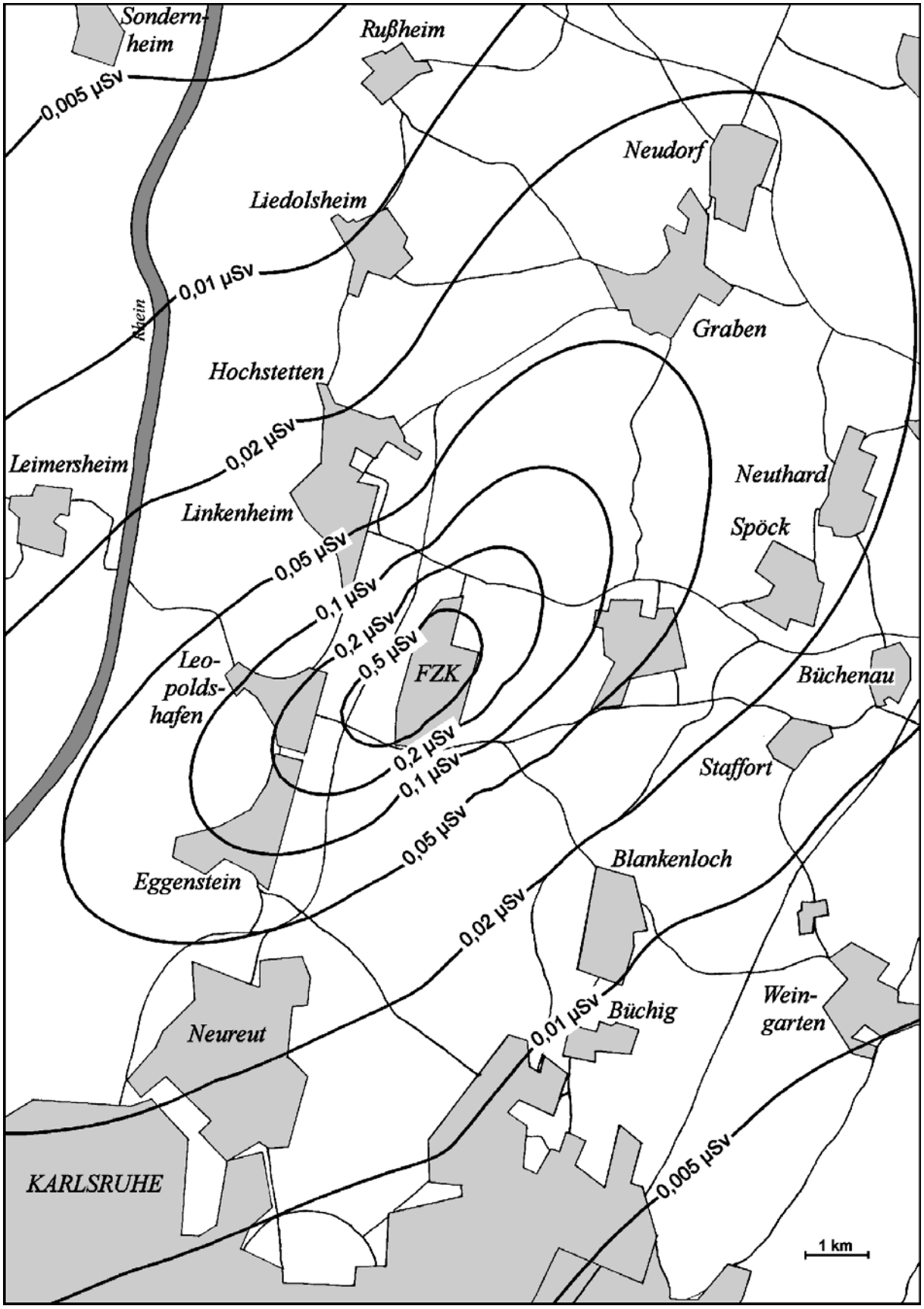


Abb. 7-6: Errechnete Effektivdosen für Erwachsene in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe, 50-Jahre-Folgedosis aufgrund der radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im Jahr 2008

7.2.1.4 Berechnung der Strahlenexposition in Folge einer angenommenen störfallbedingten Freisetzung von Tritium aus dem IMF II

A. Wicke

Im Rahmen des laufenden Genehmigungsverfahrens wurde die radiologische Auswirkung einer störfallbedingten Freisetzung von Tritium aus dem IMF-II ermittelt. Dabei waren gemäß Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV die Inhalations- und Ingestionsdosen außerhalb des Betriebsgeländes zu berechnen. Zusätzlich wurde die Dosis durch die Aufnahme über die Haut berücksichtigt. Die Bodenstrahlung ist bei Tritium ohne Bedeutung.

Bei der Festlegung des Störfall-Szenarios wurde davon ausgegangen, dass als bedeutendstes Ereignis über eine Stunde lang eine Freisetzung von $1{,}0 \cdot 10^{14}$ Bq Tritium stattfindet. Konservativ wird angenommen, dass Tritium vollständig als HTO freigesetzt wird. Dabei wird eine Ableitung über den Kamin Bau 709 in 60 m Emissionshöhe ohne Überhöhung zugrunde gelegt.

Es wird angenommen, dass sich die im Störfall freigesetzte Aktivität sowohl azimutal als auch vertikal entsprechend einer Gauß-Verteilung ausbreitet. Bei einer unterstellten Freisetzungsdauer von einer Stunde ist der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor zu ermitteln. Dabei ist nach dem deterministischen Berechnungsverfahren die für das Gesamtergebnis ungünstigste Wetterkategorie an den ungünstigsten Einwirkungsstellen anzunehmen. Für die Berechnung der Ingestionsdosis wird unterstellt, dass der Verzehr von Nahrungsmitteln im Nahbereich 24 Stunden nach Ereignisbeginn eingestellt wird. Im Bereich über 2000 m wird der Ingestionspfad zeitlich unbeschränkt berücksichtigt.

Für die Dosisberechnung für den Expositionspfad „Inhalation“ ist die Ermittlung des ungünstigsten Störfall-Ausbreitungsfaktors χ_k aus allen Wetterkategorien vorzunehmen: Maximum$\{\chi_k(A \ldots F)\}$. Für χ_k ergibt sich für eine Emissionshöhe von 60 m und unter Berücksichtigung des Windgeschwindigkeitsprofils ein Wert von $2{,}3 \cdot 10^{-5}$ s /m³ (Wetterkategorie D). Die ungünstigste Einwirkungsstelle liegt 490 m vom Emittenten entfernt am Zaun des Betriebsgeländes. Für den Bereich über 2000 m (Fernbereich) ergibt sich ein Maximalwert von $5{,}7 \cdot 10^{-6}$ s /m³ bei Wetterkategorie E.

Für den Ingestionspfad ist darüber hinaus der ungünstigste Störfall-Washoutfaktor W_k zu ermitteln. Er wird durch Integration der mit dem Washoutkoeffizienten Λ multiplizierten Konzentrationsverteilung über die Höhe berechnet. Als Maximum von W_k ergibt sich für den Nahbereich (Zaun) ein Wert von $7{,}3 \cdot 10^{-7}$ m^{-2} und für den Bereich über 2000 m ein Wert von $2{,}1 \cdot 10^{-7}$ m^{-2}.

In den Störfallberechnungsgrundlagen sind zwar Rechenvorschriften für die Berechnung der Inhalationsdosis für Tritium angegeben, für die Berechnung der Ingestionsdosis fehlen allerdings entsprechende Vorgaben. Daher wird in diesem Fall auf das von Müller und Mitarbeitern vorgestellte Rechenmodell (H. Müller, G. Pröhl, K. Henrichs, H. G. Paretzke: Phys. Bl. 46, S. 182) zurückgegriffen. Es handelt sich dabei um relativ einfache Modellansätze, doch wird z. B. die Aufnahme von Tritium über die Haut mitberücksichtigt. Es gibt zwar komplexere Rechenmodelle für den Transport von Tritium in der Umwelt und die Berechnung der daraus resultierenden Strahlenexposition, doch angesichts der existierenden Unsicherheiten bei der Ermittlung von Emissionsszenarien und der Festlegung von Modellparametern ist ein einfacher Modellansatz durchaus zulässig.

Einzelheiten zum Rechenmodell und den verwendeten Parametern sind der genannten Publikation zu entnehmen. Allerdings wurden einige wichtige Parameter wie Inhalationsrate, Verzehrsmengen und Dosiskoeffizienten den neuen Vorschriften aus der Störfallberechnungsgrundlage angepasst. Die Berechnungen wurden durchgeführt für die Altersgruppe „Kleinstkinder $\leq$ 1 Jahr“ und für Erwachsene.

Die Dosiskoeffizienten für Inhalation und Ingestion wurden aus der Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition im Bundesanzeiger vom 23. Juli 2001 entnommen. Sie beziehen sich auf die Werte für Wasserdampf bzw. Wasser und sind für alle Organe, Gewebe und die effektive Dosis gleich, unterscheiden sich nur nach Altersgruppen:

Kleinstkinder ≤ 1 Jahr:

Dosiskoeffizient für Inhalation: $6{,}4 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq
Dosiskoeffizient für Ingestion: $6{,}4 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq

Erwachsene > 17 Jahre:

Dosiskoeffizient für Inhalation: $1{,}8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq
Dosiskoeffizient für Ingestion: $1{,}8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq

Die Dosisberechnung für Inhalation, Ingestion und Aufnahme über die Haut wurde mit dem FORTRAN-Programm TRIMOD1 für die o. g. beiden Altersgruppen durchgeführt. Bei der Aufnahme von Tritium über die Haut wurde ein Wert von 0,01 m³/min ($1{,}7 \cdot 10^{-4}$ m³/s) zugrunde gelegt.

In der Zusammenfassung ergeben sich die in den folgenden Tabellen angegebenen effektiven Dosen. Bei den Berechnungen im Nahbereich wurde für Inhalation und Hautaufnahme Daueraufenthalt an der ungünstigsten Einwirkungsstelle angenommen. Für den Ingestionspfad wurde unterstellt, dass der Verzehr von Nahrungsmitteln im Nahbereich nach 24 Stunden eingestellt wird. Im Bereich über 2000 m werden alle Expositionspfade zeitlich unbeschränkt berücksichtigt. Für das Gesamtergebnis wird das jeweilige Maximum aus Nah- und Fernbereich übernommen. Lediglich beim Ingestionspfad wird die Summe aus Nah- und Fernbereich gebildet unter der Annahme, dass Nahrungsmittel noch innerhalb der ersten 24 Stunden nach dem Störfallereignis im Nahbereich verfügbar sind und im Fernbereich verzehrt werden.

Expositionspfad	Effektivdosen, in mSv		
	Nahbereich (490m)	Fernbereich (2000m)	Gesamt
Inhalation	0,008	0,002	0,008 (Maximum)
Hautaufnahme	0,025	0,006	0,025 (Maximum)
Ingestion	0,334	0,988	1,322 (Summe)
Summe	0,366	0,996	**1,35**

Tab. 7-10: Effektivdosen für Kleinstkinder ≤ 1 Jahr

	Effektivdosen, in mSv		
	Nahbereich (490m)	Fernbereich (2000m)	Gesamt
Inhalation	0,016	0,004	0,016 (Maximum)
Hautaufnahme	0,007	0,002	0,007 (Maximum)
Ingestion	0,111	0,329	0,440 (Summe)
Summe	0,134	0,335	**0,46**

Tab. 7-11: Effektivdosen für Erwachsene > 17 Jahre

Die maximal zu erwartende Effektivdosis liegt mit rd. 1,4 mSv bei Kleinstkindern weit unter dem Störfallgrenzwert von 50 mSv.

7.2.2 Abwasserüberwachung

Chr. Wilhelm, K.-G. Langguth, C. Passarge

Die Überwachung des auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums Karlsruhe anfallenden Abwassers erfolgt im Rahmen wasserrechtlicher Erlaubnisbescheide und einer atomrechtlicher

Genehmigung, die von den zuständigen Behörden des Landes Baden-Württemberg erteilt wurden. Die Überwachung radioaktiver Stoffe im Rahmen der Genehmigung erfolgt durch das „Physikalische Messlabor“ der HS, die Überwachung nichtradioaktiver Stoffe erfolgt durch das „Labor für Wasser und Umwelt“ des BTI-V.

Das auf dem Gelände des Forschungszentrums anfallende Abwasser setzt sich aus Niederschlagswasser, häuslichem Abwasser, Kühlwasser und Chemieabwasser zusammen. Das Niederschlags- und Kühlwasser, das häusliche Abwasser und das Chemieabwasser werden innerhalb des Betriebsgeländes in getrennten Systemen abgeleitet.

Das Kühlwasser und das von versiegelten Flächen abfließende Niederschlagswasser werden über Sandfänge in den unmittelbar an das Forschungszentrum angrenzenden Hirschkanal eingeleitet. Vom eingeleiteten Wasser werden kontinuierlich Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert gemessen und die Messwerte in einer Schaltwarte bei BTI angezeigt, um bei Überschreitung vorgegebener Grenzwerte unmittelbar Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Die Aktivitätskonzentration im Wasser des Hirschkanals wird unterhalb der Einleitungsstellen durch kontinuierliche Probenentnahme im Rahmen der Umgebungsüberwachung kontrolliert (s. Kap. 7.2.3).

Die häuslichen Abwässer werden der biologischen Klärung zugeführt, in mehreren Verfahrensschritten gereinigt und kontinuierlich in den Vorfluter abgeleitet (s. Abb. 7-7). Die Abwässer werden gemäß der Eigenkontrollverordnung überwacht. Zusätzlich wird im Hinblick auf Innentäter, Terrorismus, Entwendung oder Verschleppung das Schmutzwasser durch Messung kontinuierlich genommener Monatsmischproben hinsichtlich radioaktiver Stoffe überwacht.

Die im Forschungszentrum anfallenden Chemieabwässer werden entsprechend ihrer Herkunft, ihrer Verunreinigung und ihres Aktivitätsgehaltes in unterschiedliche Einzelsysteme des Chemieabwassernetzes eingeleitet. Chemieabwässer aus Betriebsstätten oder Gebäuden, in denen nicht mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, werden in das Chemieabwassernetz I eingeleitet und der Kläranlage für Chemieabwasser zugeführt. Chemieabwässer aus Kontrollbereichen oder aus Betriebsstätten, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird und die gemäß der atomrechtlichen Genehmigung zu überwachen sind (Chemieabwasser II), werden am Anfallort in sogenannten Abwassersammelstationen gesammelt. Anhand der im Physikalischen Messlabor durchgeführten Aktivitätsmessung wird gemäß der atomrechtlichen Genehmigung über die direkte Einleitung in die Chemiekläranlage als Chemieabwasser I oder Einspeisung in die Dekontaminationsanlage als Chemieabwasser III entschieden (s. Abb. 7-7).

Chemieabwässer, die möglicherweise organische Lösungsmittel enthalten (Chemieabwasser IV), werden in speziellen Behältern gesammelt und bei Herkunft aus Kontrollbereichen oder Betriebsstätten, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, auch hinsichtlich Radioaktivität überwacht. Bestätigt die chemische Analyse das Vorhandensein von Lösungsmitteln, so werden diese Abwässer gesondert entsorgt.

Die Abwässer aus der Dekontaminationsanlage werden in Übergabebehältern gesammelt. Vor einer Ableitung werden sie ebenfalls einer Kontrollmessung unterzogen und bei Überschreitung der Werte der Genehmigung erneut dekontaminiert, andernfalls in die Kläranlage für Chemieabwasser eingeleitet. Das in die Chemiekläranlage eingeleitete Chemieabwasser wird in einem mehrstufigen Prozess gereinigt und in den zwei Speicherbecken für Chemieabwasser mit je 750 m^3 Fassungsvermögen gesammelt (s. Abb. 7-7).

Im gereinigten Abwasser werden die Konzentrationen der radioaktiven und bestimmter nichtradioaktiver Stoffe ermittelt. Anhand der atomrechtlichen Genehmigung und der wasserrechtlichen Erlaubnis wird über die Ableitung entschieden. Über eine 6,7 km lange Rohrleitung werden die Abwässer – zusammen mit den geklärten Abwässern der Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen - in den Rhein eingeleitet.

Zusätzlich zu den Entscheidungsmessungen, die vor Abgabe des Abwassers aus den Abwassersammelstationen, der Dekontaminationsanlage und den Speicherbecken durchzuführen sind, wird die mit dem Abwasser des Forschungszentrums abgeleitete Aktivität durch nuklidspezifische Analysen von Monats- und Quartalsmischproben, die mengenproportional aus Teilmengen der einzelnen abgeleiteten Abwasserchargen herzustellen sind, bilanziert. Die bilanzierte Aktivität darf die ebenfalls in der atomrechtlichen Genehmigung festgelegten Jahresableitungsgrenzwerte für Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser nicht überschreiten. Die genehmigten Jahresableitungsgrenzwerte und zulässigen Konzentrationen radioaktiver Stoffe im Abwasser wurden im Zuge der Antragstellung zur Erteilung der atomrechtlichen Genehmigung durch einen von der Aufsichtsbehörde bestellten Gutachter überprüft.

Die Eigenüberwachung der radioaktiven Emissionen mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum wird durch Messungen behördlich beauftragter Sachverständiger kontrolliert. Aufgrund behördlicher Anordnung wird auf das Forschungszentrum sinngemäß das Programm zur „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ gemäß der Richtlinie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 05.02.1996 angewandt. Danach werden durch das Bundesamt für Strahlenschutz, das als beauftragter Sachverständiger von der Behörde hinzugezogen wurde, Kontrollmessungen an Monats- und Quartalsmischproben durchgeführt.

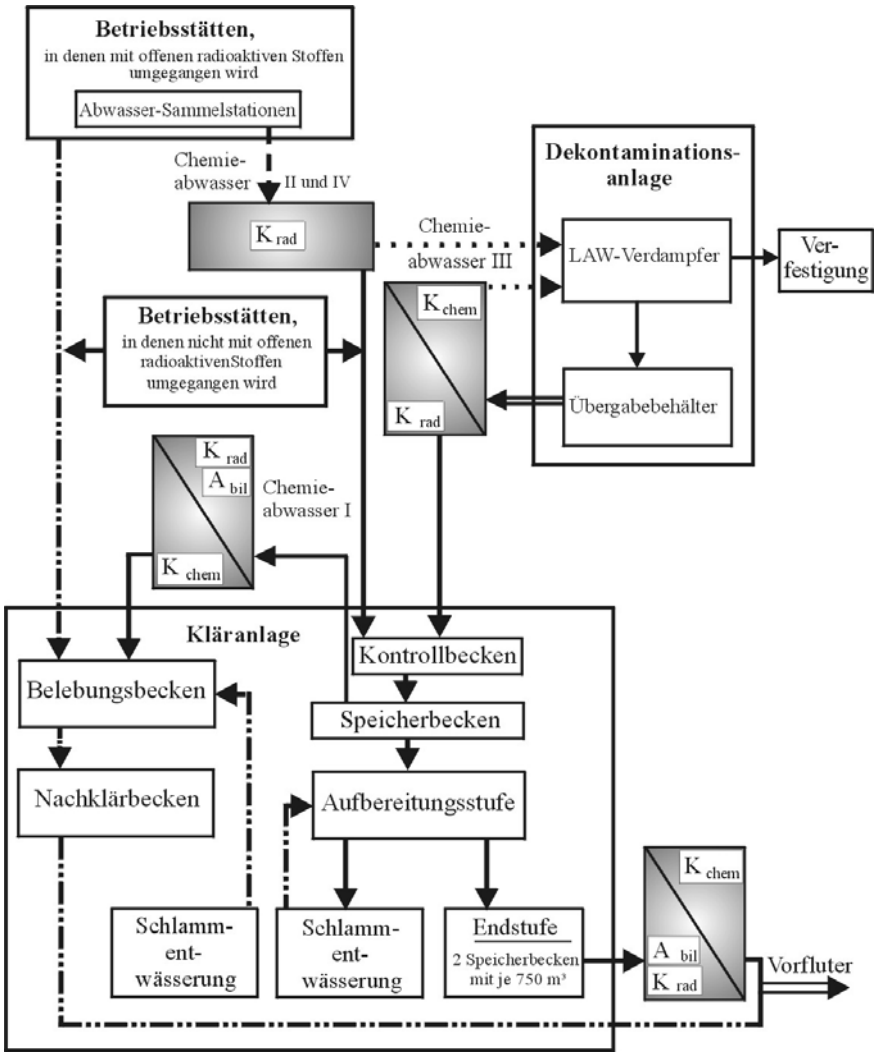


Abb. 7-7: Vereinfachtes Fließschema der Abwässer im Forschungszentrum Karlsruhe (Krad: Kontrollmessung radioaktiver Stoffe; Kchem: Kontrollmessung nichtradioaktiver Stoffe, Abil: Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe)

7.2.2.1 Ableitung nichtradioaktiver Stoffe mit dem Abwasser im Jahr 2008

U. Berg (BTI-V), Chr. Wilhelm

Die Überwachung der aus der Kläranlage für Chemieabwasser und der Kläranlage für häusliches Abwasser in den Vorfluter eingeleiteten Abwässer hinsichtlich nichtradioaktiver Stoffe wird von BTI-V durchgeführt.

Zur Ermittlung der Jahresabgaben dienen dabei die Ergebnisse der Messungen, die an den einzelnen Speicherbeckenchargen der Chemiekläranlage gemäß den Vorgaben des wasserrechtlichen Erlaubnisbescheides und an qualifizierten Stichproben aus dem Ablauf der biologischen Kläranlage gemäß der Eigenkontrollverordnung des Landes Baden-Württemberg durchgeführt wurden. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Stoffe zur Eigenkontrolle in die Überwachung einbezogen.

In Tab. 7-12 sind die bilanzierten Ableitungen mit dem Chemieabwasser und dem häuslichen Abwasser sowie in Tab. 7-12 die errechneten Jahreskonzentrationsmittelwerte für das Jahr 2008 wiedergegeben.

Parameter	Chemieabwasser [kg/a]	Häusliches Abwasser
Chem. Sauerstoffbedarf (CBS)	349	2296
Biochem. Sauerstoffbedarf (BSB_5)	n.b.	≤240
absorbierbare organische Halogenverbindungen	1,24	8,2
flüchtige organische Halogenverbindungen (POX)	≤0,20	≤1,4*
mineralölhaltige Kohlenwasserstoffe (KW)	≤2,3	n.b.
Gesamtstickstoff (N ges.)	≤34,6	≤433
organ. gebundener Stickstoff (N org.)	≤12,3*	≤162*
Chlorid	4781*	20380*
Nitrat - N	≤0,43	240
Nitrit - N	≤0,82	≤25,8
Phosphat - P ges	≤11,3	65,8
Sulfat	4155*	5813*
Ammonium - N	≤33,4	≤169
Cadmium	≤0,09	≤0,69
Chrom	≤0,09	≤0,69
Eisen	2,1	6,95
Quecksilber	≤0,002*	0,01*
Blei	≤0,09	≤0,69
Kobalt	≤0,09	≤0,69
Kupfer	≤0,09	≤0,72
Mangan	0,34	4,03
Nickel	0,26	≤0,89
Zink	0,58	5,35

Tab. 7-12: Jahresfracht an Abwasserinhaltsstoffen im Ablauf des Chemieklärwerks (Gesamtvolumen 8696 m3, 24.01. – 10.12.08) und der biologischen Kläranlage (Gesamtvolumen 69262 m³, 03.01. – 31.12.08) im Jahr 2008; n.b.: nicht bilanziert; * Bilanzierung über Quartalsbecken (n=4) unter Berücksichtigung des Faktors Gesamtvolumen/Summe Quartalsbeckenvolumen

Im Ablauf der biologischen Kläranlage waren die mittleren Konzentrationen bezüglich Mangan, Nickel, Quecksilber und Nitrat-N im Ablauf niedriger als im Jahr 2007 (Tab. II/9.2). Dagegen fielen die mittleren Konzentrationen bezüglich CSB, BSB_5, Ammonium-N, Phosphat-Pges,

AOX, Eisen, Zink, Chlorid und Sulfat höher aus als im Vorjahr. In der Chemiekläranlage waren die mittleren abgeleiteten Konzentrationen von CSB, KW, Nickel, Barium, Fluorid, Nges, Nitrit-N und Nitrat-N niedriger als im Vorjahr. Der mittlere GL-Wert als Toxizitätsparameter war kleiner gegenüber dem Jahr 2007.

Parameter	Mittelwert Chemiekläranlage [mg/l]	Mittelwert Schmutzwasserkläranlage [mg/l]
pH-Wert	7,0	7,2
absetz. Stoffe	n.a.	<0,1
absorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX)	0,15	≤0,12
flüchtige organische Halogenverbindungen (POX)	≤0,02*	≤0,02*
mineralölhaltige Kohlenwasserstoffe (KW)	<0,24	n.a.
Biochem. Sauerstoffbedarf (BSB_5)	n.a.	<3,5
chem. Sauerstoffbedarf (CSB)	40,1	33,2
Phenol-Index	n.a.	n.a.
Cadmium	<0,01	<0,01
Chrom ges.	<0,01	<0,01
Eisen gesamt	0,24	0,10
Quecksilber	<0,0002*	<0,0002*
Blei	<0,01	<0,01
Kobalt	<0,01	<0,01
Kupfer	<0,01	<0,01
Mangan	0,04	0,06
Nickel	0,03	<0,01
Zink	0,07	0,08
Calcium	251	92,9
Magnesium	18,4	14,1
Aluminium	0,06	0,05
Barium	0,03	0,01
Ammonium-N	<3,48	<2,44
Chlorid	550*	294*
Sulfat	478*	83,9*
Cyanid gesamt	<0,007*	n.a.
Fluorid	0,36	n.a.
Nitrat-N	<0,05	3,46
Nitrit-N	<0,09	<0,36
Phosphat-P ges.	1,29	0,95

Tab. 7-13: Mittlere Ablaufkonzentrationen der Endbeckenchargen aus der chemischen Kläranlage (n=13) und aus dem Ablauf der biologischen Kläranlage (n=54) im Jahr 2008; n.a.: nicht analysiert; *Angaben aus Quartalsproben (n=4)

Es wurde ca. 5 % mehr häusliches Abwasser gegenüber dem Vorjahr abgeleitet. Dafür fielen 26 % weniger Chemiewasser an, verglichen mit dem Jahr 2007. Unter Berücksichtigung dieser Verschiebung der Volumenströme im Vergleich zum Vorjahr kam es dennoch zu einer deutlichen Frachterhöhung bezüglich des BSB_5, an Phosphat-Pges und an AOX sowie einer leichten Frachterhöhung bezüglich des CSB, an Nitrit-N, Eisen und Zink im Ablauf des biologischen Klärwerks (Tab. II/9.1). Im Chemieabwasser zeigten sich unter Berücksichtigung der signifikanten Volumenverschiebung Frachterhöhungen für AOX, Ammonium-N und Nges, Phosphat-Pges

und Zink. Dagegen war die Fracht an Nitrat- und Nitrit-N, KW, Mangan und Nickel deutlich geringer als im Jahr 2007.

7.2.2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2008

C. Passarge, Chr. Wilhelm

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wird anhand von Mischproben bilanziert. Dazu werden mengenproportionale Proben der einzelnen Speicherbeckenfüllungen zu Monats- und Quartalsmischproben vereinigt und am Ende des Sammelzeitraumes analysiert. Neben der Bestimmung der Aktivität von Tritium erfolgen bei Monatsmischproben auch nuklidspezifische Messungen mittels Gammaspektrometrie. Bei den Quartalsmischproben werden die Gesamt-Alpha-Aktivität und nach einer chemischen Aufbereitung der Proben die Konzentration von Strontiumisotopen sowie von C-14 und S-35 ermittelt. Bei einer Gesamt-Alpha-Aktivität $\geq 0{,}5$ kBq/m³ müssen zusätzlich die folgenden Radionuklide radiochemisch bestimmt werden: Pu-238, Pu-239/240, Pu-241, Am-241 und Am-243. Da im Jahr 2008 bei allen Quartalsmischproben die Gesamt-Alpha-Aktivität kleiner als 0,5 kBq/m³ war, konnte auf die radiochemische Bestimmung der Plutonium- und Americiumisotope verzichtet werden. In Tab. 7-14 sind die anhand von Monats- und Quartalsmischproben ermittelten Gesamtableitungen radioaktiver Stoffe im Jahr 2008 wiedergegeben. Zum Vergleich sind die Vorjahreswerte und die Genehmigungswerte mit angegeben. Um die atomrechtliche Genehmigung einzuhalten, muss für die nachgewiesenen Radionuklide gewährleistet werden, dass die Summe der Verhältniszahlen aus der gemessenen Aktivitätsabgabe und den Genehmigungswerten der einzelnen Radionuklide außer Tritium kleiner oder höchstens gleich 1 ist (im Jahr 2008 betrug das Verhältnis 0,002).

Bei den bilanzierten Ableitungen dominiert das in Form von HTO abgeleitete Tritium. Einen Überblick über die Entwicklung der mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe abgeleiteten Tritiumaktivität in den letzten 10 Jahren gibt die Abb. 7-8.

Radionuklid	Genehmigungswerte J_n für die Aktivitäts-abgaben in Bq/a	bilanzierte Ableitungen in Bq/a	
		2008	2007
H-3	8,0 E+13	1,5 E+12	1,2 E+11
Co-57	2,0 E+10	1,9 E+04	-
Co-60	1,0 E+09	2,6 E+04	2,1 E+05
Sr-90	3,0 E+09	9,9 E+05	4,1 E+06
Cs-137	3,0 E+09	5,4 E+06	7,0 E+06
Re-183	2,0 E+10	2,4 E+06	-
Re-184	2,0 E+10	3,2 E+05	-
Ges. Alpha	4,0 E+08*	1,0 E+06	3,4 E+06
aus dem Forschungs-zentrum abgeleitete Chemieabwasser-menge in m³	-	19 000	21 400

Tab. 7-14: 2008 aus dem Forschungszentrum Karlsruhe abgeleitete Abwassermenge und -aktivität sowie Genehmigungswerte gemäß atomrechtlicher Genehmigung (* Wert des Alpahstrahlers mit dem niedrigsten Genehmigungswert.)

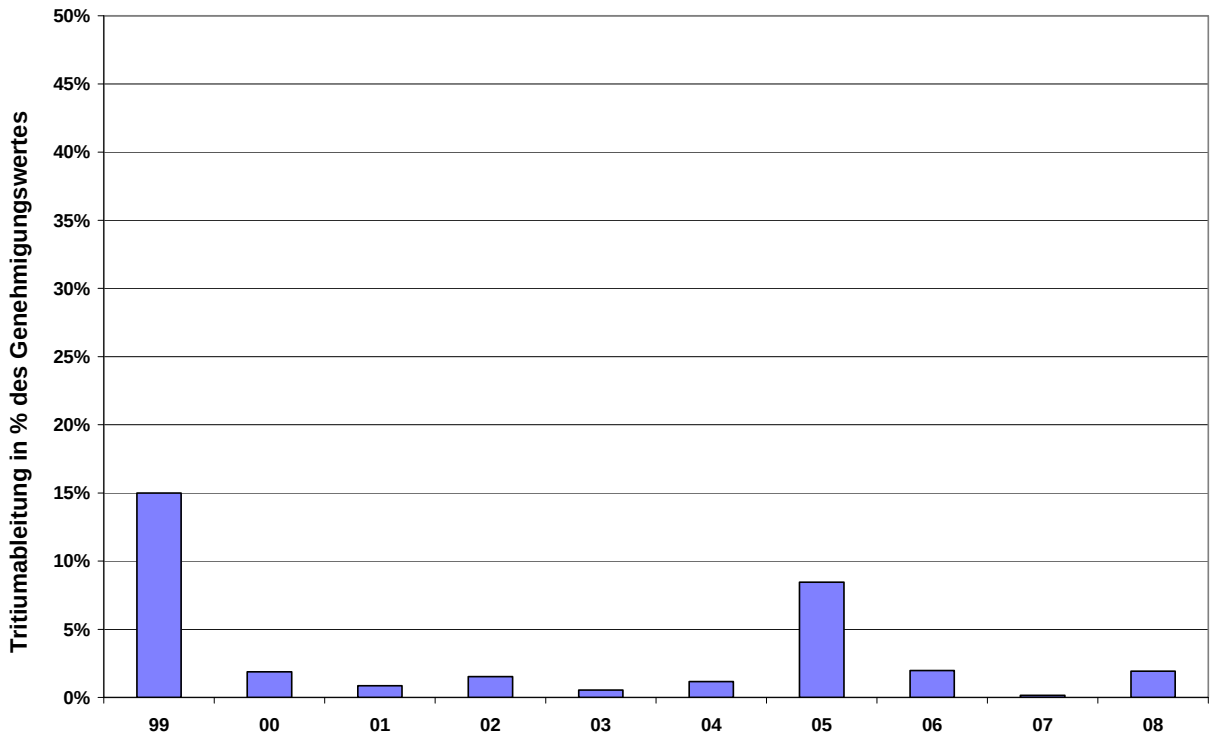


Abb. 7-8: Entwicklung der mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum Karlsruhe jährlich abgeleiteten Tritiumaktivität seit 1999

7.2.2.3 Strahlenexposition in der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe durch die mit dem Abwasser in den Rhein abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Jahr 2008

K.-G. Langguth

Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser des Forschungszentrums Karlsruhe in den Rhein resultierende Strahlenexposition wurde unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV vom 30.06.1989 berechnet. Die Berechnung wurde mit Hilfe des Programms STARS durchgeführt. Dabei wurden die Effektiv- und Organdosen - jeweils für Erwachsene und Kleinkinder - als 50-Jahre-Folgeäquivalentdosen ermittelt. Die Berechnung erfolgte mit den Parametern und den Expositionspfaden, die auch im Gutachten im Auftrag des UM zum Antrag des Forschungszentrums auf Einleitung des Abwassers in den Rhein zur Anwendung kamen. An der Einleitungsstelle wurde dabei von einem mittleren Abfluss MQ von 1 260 m³/s ausgegangen. Die berechneten effektiven Dosen und ggf. die jeweils größten Dosen der relativ zum Grenzwert der StrlSchV stärker exponierten Organe für Erwachsene und Kleinkinder für die Ableitung in den Rhein sind in Tab. 7-15 wiedergegeben.

Die Rechenergebnisse zeigen, dass für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in den Rhein die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung (Grenzwert für die effektive Dosis: 3 E-04 Sv/Jahr) deutlich unterschritten werden.

Bilanzierte Aktivitätsableitungen 2008		Maximale Körper-Folgeäquivalentdosen 2008 in Sv			
		Erwachsene		Kleinkinder	
Nuklid	Aktivität in Bq	Effektive Dosis	Dosis für das relativ am stärksten exponierte Organ	Effektive Dosis	Dosis für das relativ am stärksten exponierte Organ
H-3	1,5 E+12	1,7 E-08		1,7 E-08	
Co-57	1,9 E+04	3,2 E-14		4,3 E-14	
Co-60	2,6 E+04	3,5 E-12		5,2 E-12	
Sr-90	9,9 E+05	7,9 E-11	3,8 E-10 (RK)	4,9 E-11	2,1 E-10 (RK)
Cs-137	5,4 E+06	1,1 E-09		2,8 E-10	
Re-183*	2,4 E+06	3,1 E-12	1,8 E-11 (Ma)	3,8 E-12	1,7 E-11 (Ma)
Re-184	3,2 E+05	2,1 E-13	9,6 E-13 (Ma)	2,4 E-13	8,6 E-13 (Ma)
Gesamt-Alpha**	1,0 E+06	5,8 E-10	1,1 E-08 (KO)	3,2 E-10	4,6 E-09 (KO)
Summe, gerundet		1,9 E-08	-	1,8 E-08	-

(RK): Rotes Knochenmark; (Ma): Magen; (KO): Knochenoberfläche

* Da Dosisfaktoren bzw. Dosiskoeffizienten für Re-183 in den Allgemeinen Verwaltungsvorschriften zur Berechnung der Strahlenexposition nicht verfügbar sind, wurden in konservativer Weise die Faktoren von Re-184m zur Berechnung verwendet.

** Bei der Gesamt-Alpha-Aktivität wurde in konservativer Weise angenommen, dass es sich ausschließlich um Pu-240 handelte. Pu-240 ist von den Alpha-Strahlern, die in den letzten zehn Jahren mit dem Abwasser aus dem Forschungszentrum abgegeben wurden, das Nuklid mit der höchsten Strahlenexposition je Aktivitätseinheit.

Tab. 7-15: Maximale Körper-Folgeäquivalentdosen, berechnet aus den bilanzierten Aktivitätsableitungen mit dem Abwasser in den Rhein im Jahr 2008

7.2.3 Radiologische Umgebungsüberwachung

A. Wicke, B. Vobl, W. Bohn

Die Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe wird nach einem vom Umweltministerium Baden-Württemberg angeordneten Routinemessprogramm überwacht. Das zum Januar 2007 aktualisierte Programm berücksichtigt die Vorgaben der neuen Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) vom 23. März 2006.

Das überwachte Gebiet umfasst eine Fläche von ca. 120 km^2. Die meisten Mess- und Probenentnahmeorte liegen, wie in Abb. 7-10 dargestellt, innerhalb eines Bereichs von ca. 6 km Radius um das Forschungszentrum Karlsruhe. Die Mess- und Probenentnahmeorte innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe sind in Abb. 7-11 dargestellt.

Das auflagenbedingte Überwachungsprogramm umfasst die Ermittlung der direkten Strahlenexposition sowie die Messung der Aktivität von Probenmaterialien aus verschiedenen Umweltmedien. Monatliche Messfahrten dienen dem Training des Einsatzpersonals bei Störfällen. Wenn sich im Rahmen der Routineüberwachung gegenüber bekannten Schwankungsbereichen signifikant erhöhte Messwerte ergeben, werden ergänzende, zeitlich befristete Überwachungsmaßnahmen durchgeführt. Die sehr umfangreiche Zusammenstellung aller Einzelmessergebnisse wird für jedes Quartal den Aufsichtsbehörden zugeleitet.

Im Jahr 2008 wurden 570 Proben genommen und 989 Radioaktivitätsmessungen durchgeführt, wobei der größte Anteil der Proben weiterhin auf die Überwachung der Umweltbereiche Luft (Schwebstoffe) und Niederschlag entfällt (Abb. 7-9).

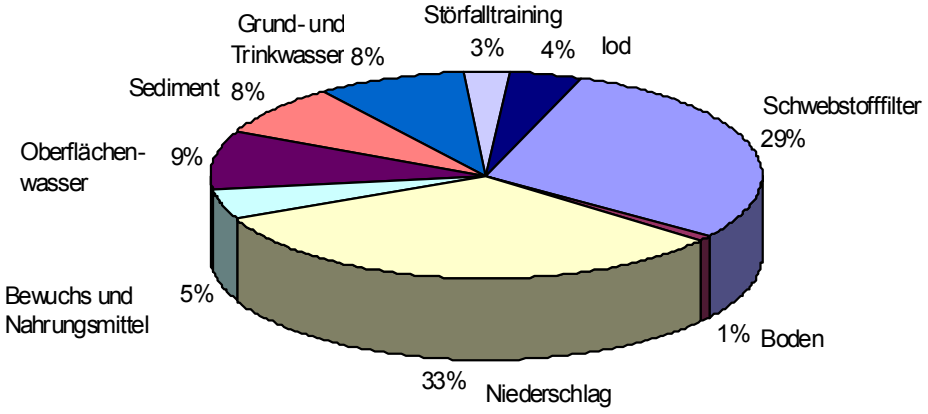
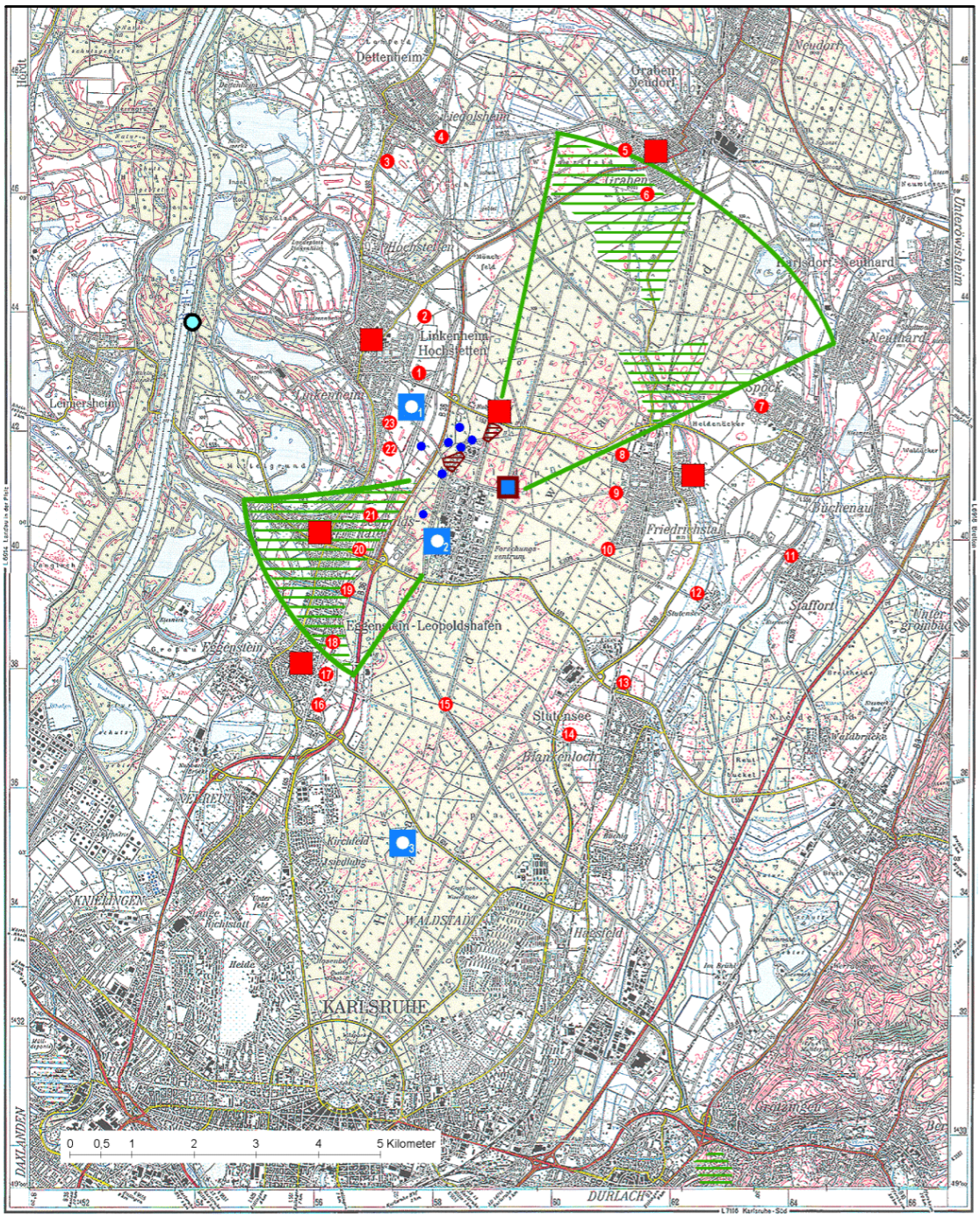


Abb. 7-9: Prozentuale Verteilung der Anzahl von Proben zur Umgebungsüberwachung bezogen auf einzelne Umweltmedien

Die Ergebnisse der Messungen der Umgebungsüberwachung werden auf Wunsch des Umweltministeriums Baden-Württemberg mit Jahresbeginn 2007 in das Integrierte Mess- und Informationssystem des Bundes (IMIS) eingepflegt. Das IMIS stellt einen Berichtsgenerator zur Verfügung, mit dem die nach REI erforderlichen Quartals- und Jahresberichte im PDF-Format erzeugt und ins IMIS-Dokumentensystem eingestellt werden können. Nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörden stehen die Berichte allgemein zur Verfügung.



Legende

- Außenstation
- Festkörperdosimeter (Messorte Nr.1 - 23)
- Trinkwasser (Wasserwerke) 1 = Linkenheim, 2 = FZK Süd, 3 = Karlsruhe-Hardtwald
- Grundwasser
- kontinuierliche Sammlung von Oberflächenwasser und Sediment unterhalb der Regen- und Kühlwassereinleitungen
- Hauptausbreitungssektoren
- Landwirtschaftliche Produkte und Boden
- Boden
- Gemeinsame Einleitungsstelle für die Abwässer der Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen und des Forschungszentrums Karlsruhe bei Rhein-km 373,752

Grundlage Topografische Karte 1:50 000,
Copyright Landesvermessungsamt Baden-Württemberg,
http://www.lv-bw.de

Abb. 7-10: Lageplan der Mess- und Probenentnahmestellen zur Umgebungsüberwachung außerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe

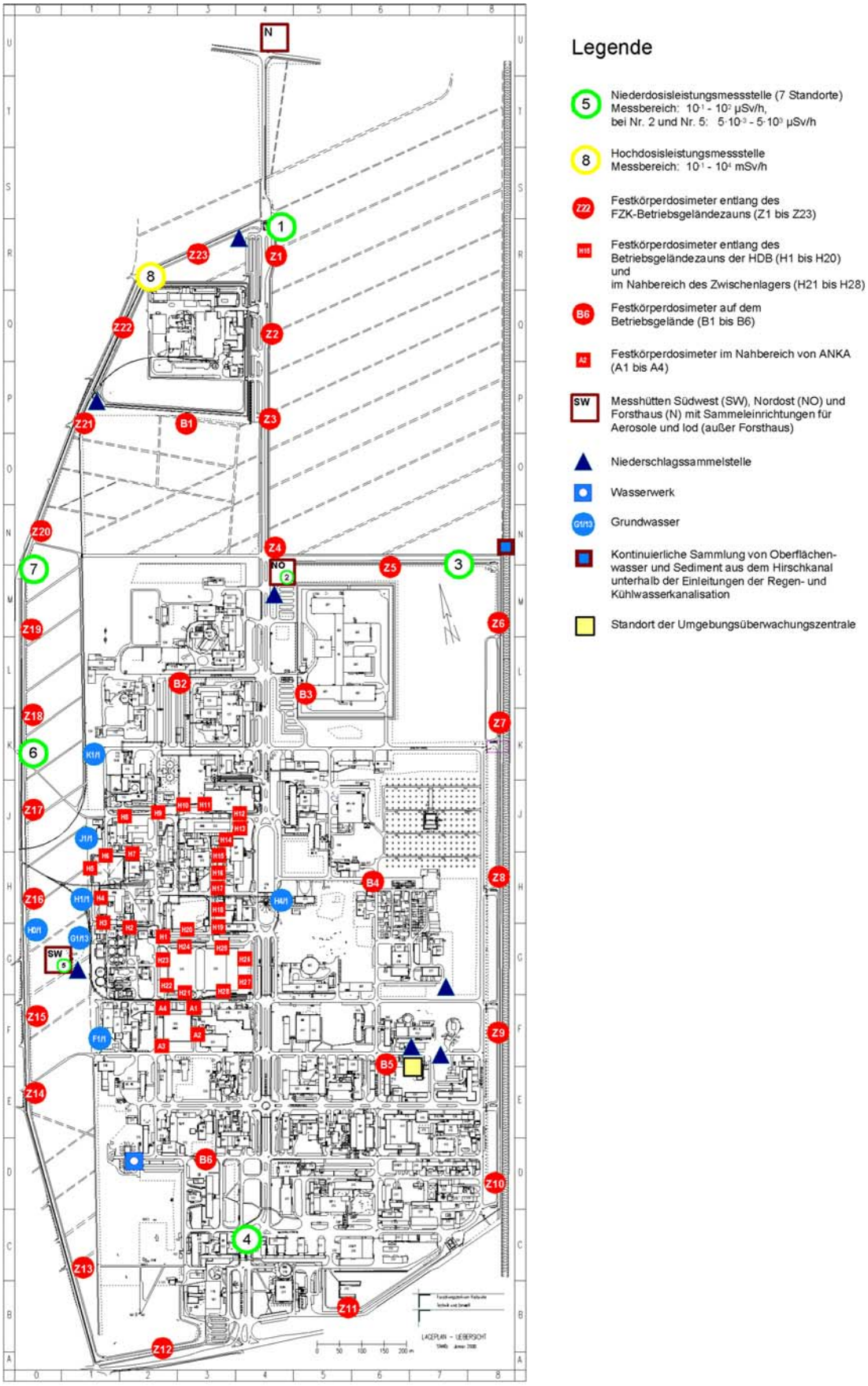


Abb. 7-11: Lageplan der Mess- und Probenentnahmestellen zur Umgebungsüberwachung innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe

Das Routineüberwachungsprogramm zur Überwachung der Umgebung hat folgende Struktur:

I Direktmessung der Strahlung
- Außenstationen
- Monitoranlage zur Überwachung des Betriebsgeländes einschließlich WAK
- Festkörperdosimeter

II Radioaktivitätsmessungen
- Luft
- Niederschlag
- Boden
- Bodenoberfläche
- Bewuchs
- Pflanzliche Nahrungsmittel
- Oberflächenwasser
- Sediment
- Grund- und Trinkwasser

III Messfahrten (Störfalltraining)
- γ-Ortsdosisleistung
- Schwebstoffe
- Bodenoberfläche
- Boden

7.2.3.1 Direktmessung der Strahlung

Zur Direktmessung der Strahlung befinden sich zwei Online-Systeme im Einsatz. Das eine System, die Monitoranlage, dient der Überwachung der Ortsdosisleistung entlang des Betriebsgeländezauns. Das andere System, die Außenstationen, dient zur Überwachung des Strahlenpegels in den umliegenden Ortschaften. Parallel zu diesen beiden Systemen wurden Anfang 2008 16 sog. GammaTracer Basic der Firma Genitron/Saphymo mit Funkübertragung auf der Basis des sog. „ShortLink“ in Betrieb genommen. Nach Abschluss der Erprobungsphase soll dieses Netz die beiden alten Systeme ersetzen. Im Jahr 2008 wurden keine Überschreitungen der Warnschwelle von 0,5 µSv/h an der Monitoranlage registriert. Die gemessene Ortsdosisleistung bei den Außenstationen folgte den natürlichen Schwankungen ohne signifikante Erhöhungen. In Abb. 7-12 sind die Wochenmittelwerte der γ-Ortsdosisleistung im Jahr 2008 an den Außenstationen der nächstgelegenen Ortschaften und an der Station „Forsthaus“ dargestellt. Der Schwankungsbereich der Ortsdosisleistung lag zwischen 67 und 96 nSv/h. Die Unterschiede des Strahlungspegels werden im Wesentlichen durch messgerät- und standortspezifische Parameter bestimmt.

Die Direktstrahlung wird auch als Jahresortsdosis mit integrierenden Thermolumineszenzdosimetern gemessen. An den 23 Messorten entlang des Zauns des Betriebsgeländes lagen die Bruttowerte der Ortsdosis im Bereich von 0,57 bis 0,69 mSv/a, bei einem Mittelwert von 0,65 mSv/a (Abb. 7-13). Die Dosimeterstandorte sind aus Abb. 7-11 zu ersehen. Der Maximalwert wurde am Westzaun ermittelt. Die Messwerte der 23 Umgebungsdosimeter in den umliegenden Ortschaften reichten von 0,56 bis 0,75 mSv/a, bei einem Mittelwert von 0,65 mSv/a (Abb. 7-13), (Dosimeterstandorte siehe Abb. 7-10). Die Dosimeter vom Standort Nr. 15 und 21 sind im Berichtsjahr abhanden gekommen. Am Messort 17 wurde das im Vorjahr vermisste Dosimeter wiedergefunden. Das Dosimeter wurde ausgewertet und der auf 365 Tage normierte Dosiswert berichtet.

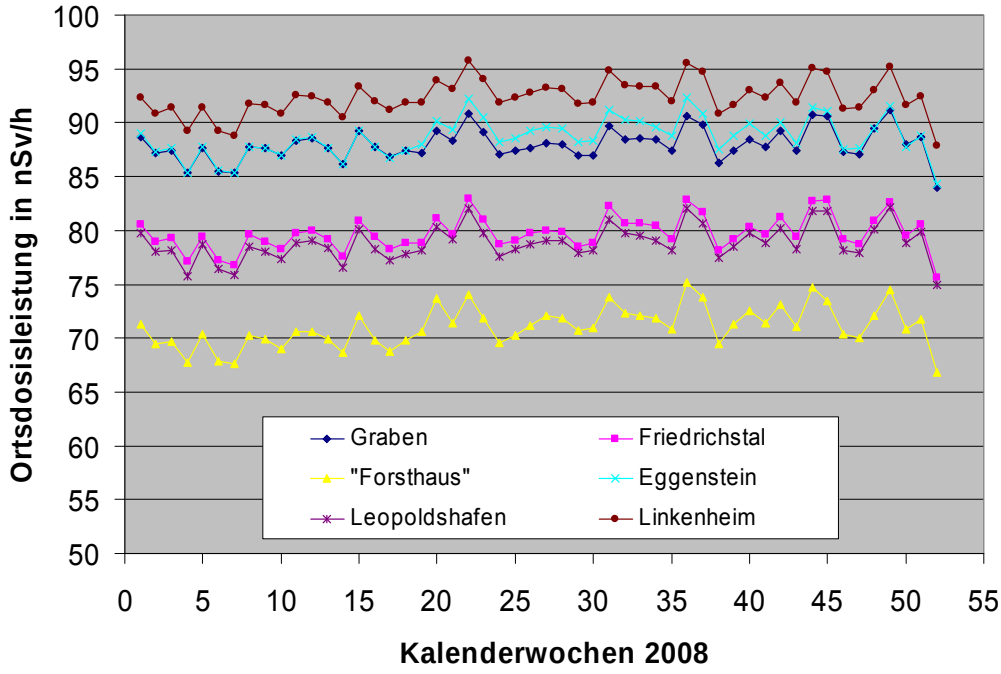


Abb. 7-12: Wochenmittelwerte der γ-Ortsdosisleistung im Jahr 2008 in den nächstgelegenen Ortschaften und am „Forsthaus“

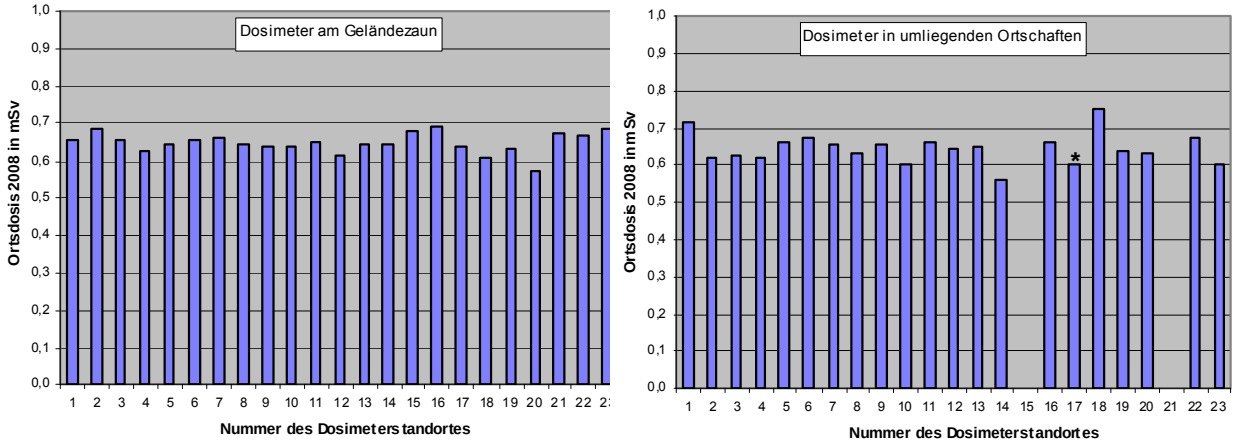


Abb. 7-13: Messwerte der Ortsdosis im Jahr 2008 entlang des Geländezaunes und in umliegenden Ortschaften (vgl. Abb. 7-10 und Abb. 7-11). Fehlende Messbalken zeigen an, dass am jeweiligen Standort das Dosimeter abhanden gekommen ist.
* Dosimeter war zwei Jahre exponiert, Wert auf 365 Tage normiert

7.2.3.2 Radioaktivitätsmessungen

An den drei Messhütten werden Schwebstofffilter kontinuierlich bestaubt und wöchentlich gewechselt. Neben der Messung der langlebigen α- und β-Gesamtaktivität aller Einzelfilter erfolgen vierteljährlich γ-spektrometrische Untersuchungen und Plutoniumanalysen an Quartalsmischproben der Filter. Im Jahr 2008 wurde im 4. Quartal das künstliche Nuklid Cs-137 mit einer Aktivitätskonzentration von 3,1 µBq/m³ knapp über der Erkennungsgrenze nachgewiesen, alle anderen durch γ-Spektrometrie bestimmten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide lagen unterhalb der Erkennungsgrenze. In diesen Fällen werden entsprechend der Vorgabe der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung die erreichten Nachweisgrenzen mit vorangestelltem Kleinerzeichen (<) berichtet. Die Aktivitätskonzentration des natürlichen Ra-

dionuklids Be-7 schwankte zwischen 2,7 und 5,1 mBq/m³. Bei der Untersuchung der Plutonium-Aktivitätskonzentrationen lagen die Messergebnisse alle unterhalb der Erkennungsgrenze.

An insgesamt sieben Stellen auf dem Betriebsgelände des Forschungszentrums wird Niederschlag zur Überwachung auf Radioaktivität gesammelt (s. Abb. 7-11). Eine weitere Sammelstelle in Karlsruhe-Durlach dient als Referenzstelle. Im Jahr 2008 betrug die über alle sieben Sammelstellen gemittelte Jahresniederschlagsmenge rd. 637 mm. Im Niederschlag wurden bei der γ-spektrometrischen Analyse keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Nachweisgrenze für Cs-137 lag bei 0,016 Bq/L. Für die H-3-Aktivitätsdeposition wurden Werte zwischen 44 und rd. 10.000 Bq/m² bezogen auf einen Sammelzeitraum von einem Monat gemessen. Der Maximalwert wurde im Monat April mit den Niederschlagssammler im Bereich des Tritiumlabors bei einer Niederschlagshöhe von 62 mm ermittelt. Ein Vergleich mit den bilanzierten Tritiumableitungen mit der Fortluft hat ergeben, dass die erhöhten Tritiumdepositionen nicht mit den Ableitungen des Tritiumlabors sondern mit den erhöhten Ableitungen der Verbrennungsanlage HDB 536 korrelieren.

Tab. 7-16 enthält eine Übersicht über die Schwankungsbereiche der in den Jahren 2007 und 2008 gemessenen spezifischen Aktivitäten in Bodenproben. Aufgeführt sind außer dem natürlichen Radionuklid K-40 nur solche künstlichen Nuklide, bei denen in den Jahren 2007 und 2008 mindestens ein Messergebnis über der Erkennungsgrenze lag.

Die spezifischen Aktivitäten im Jahr 2008 sind vergleichbar mit den Werten des Vorjahres. Die gemessenen Cs-137-Aktivitäten beruhen zum größten Teil auf dem Fallout des Reaktorunfalls in Tschernobyl im Jahr 1986.

Zur Bestimmung der spezifischen Aktivität im Boden wurden in den Hauptausbreitungssektoren der WAK (braun umrandete Sektoren in Abb. 7-10 und an einer Referenzstelle in Karlsruhe-Durlach Proben bis zu einer Tiefe von 5 cm entnommen und anschließend im Labor ausgewertet. In den beiden Hauptausbreitungssektoren bezogen auf die Standorte der Fortluftkamine im Forschungszentrum (grün umrandete Sektoren in Abb. 7-10) wurden im Bereich der Anbauflächen der überwachten Nahrungsmittel Bodenproben bis zu einer Tiefe von 20 cm entnommen. Die gemessene spezifische Aktivität dieser Proben lag im Schwankungsbereich der Messwerte der übrigen Bodenproben (Tab. 7-16). Vergleichbare Ergebnisse lieferten Messungen der spezifischen Aktivität der Bodenoberfläche an vier Stellen durch *In-situ*-Gammaspektrometrie.

Eine Übersicht über die Schwankungsbereiche der in den Jahren 2007 und 2008 gemessenen Radioaktivitätsgehalte in Nahrungsmitteln gibt Tab. 7-17. Aufgeführt wurden die Messergebnisse für die Nuklide K-40, Cs-137 und Sr-90. Die untersuchten landwirtschaftlichen Produkte wurden in den beiden Hauptausbreitungssektoren angebaut.

Die Kühl- und Regenwässer des Forschungszentrums werden über die Sandfänge 1 bis 6 in den Hirschkanal abgeleitet. Das Oberflächenwasser des Hirschkanals wird unterhalb von Sandfang 6 im Teilstrom gesammelt (siehe Abb. 7-11) und wöchentlich ausgewertet. Die H-3-Aktivitätskonzentration schwankte zwischen Messwerten unterhalb der Erkennungsgrenze bis zu einem Maximalwert in der 15. Woche von 49 Bq/L. Die erhöhte H-3-Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser des Hirschkanals ist die Folge der erhöhten H-3-Aktivitätsdeposition mit dem Niederschlag im April 2008.

Das Sediment aus dem Hirschkanal wird kontinuierlich in einem so genannten Sedimentsammelkasten aufgefangen, der monatlich geleert wird. Die gemessenen spezifischen Aktivitäten liegen im Schwankungsbereich der Vorjahreswerte (Tab. 7-18). Die spezifischen Cs-137-Aktivitäten zeigen keine Veränderung zu den Ergebnissen des Vorjahres.

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		2008		2007	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Boden (0-5 cm)	K-40	460	530	430	530
	Cs-137	7,6	28	13	24
	Sr-90	0,29	0,63	0,22	4,0
	Pu-238	<0,011	0,078	<0,016	0,096
	Pu-239/240	0,086	0,52	0,039	0,46
Boden (0-20 cm)	K-40	500	510	500	530
	Cs-137	5,8	11	7,1	10
Boden (In-situ-Gamma-Spektrometrie*)	K-40	510	550	410	620
	Cs-137	7,1	13	8,2	11

*Umrechnungsfaktor Feuchtmasse/Trockenmasse 1,2

Tab. 7-16: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität im Boden

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		2008		2007	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Wurzelgemüse	K-40	64	170	63	160
	Cs-137	<0,024	0,051	<0,026	0,046
	Sr-90	0,095	0,12	0,014	0,015
Getreide	K-40	130	180	140	180
	Cs-137	<0,056	<0,078	<0,084	<0,10
	Sr-90	0,091	0,13	0,16	0,17
Blattgemüse	K-40	81	220	64	130
	Cs-137	<0,03	<0,065	<0,036	0,031
	Sr-90	0,12	0,2	0,034	0,043

Tab. 7-17: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität in Nahrungsmitteln

überwachtes Medium	Nuklid	spezifische Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		2008		2007	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Sediment (Hirschkanal)	α–gesamt	530	650	360	560
	β–gesamt	2000	2400	1400	1900
	K-40	430	460	490	630
	Cs-137	133	160	160	190
	Am-241	<11	8,7	<10	12

*Umrechnungsfaktor Feuchtmasse/Trockenmasse 1,2

Tab. 7-18: Schwankungsbereiche der spezifischen Aktivität im Sediment

Zur Überwachung des Grundwassers im Nahbereich der HDB werden im Rahmen des Umgebungsüberwachungsprogramms zahlreiche Beobachtungspegel beprobt. Diese Pegel befinden sich innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes in Grundwasserfließrichtung. Die

H-3-Aktivitätskonzentrationen schwankten im Jahr 2008 zwischen Messergebnissen unterhalb der Erkennungsgrenze und einem Maximalwert von 8,1 Bq/L, der im zweiten Halbjahr am Beobachtungspegel H 0/1 innerhalb des Betriebsgeländes gemessen wurde. Insgesamt liegen die Werte im Bereich derer des Vorjahres.

Die H-3-Aktivitätskonzentrationen im Rohwasser der überwachten Wasserwerke „Süd“ des FZK und Linkenheim liegen unterhalb oder nur knapp oberhalb der Nachweisgrenze, vergleichbar mit den Werten des Wasserwerks Karlsruhe-Hardtwald, das als Referenz dient (siehe Abb. 7-14). Die H-3-Aktivitätskonzentration der Beobachtungsbrunnen zwischen dem Forschungszentrum und Linkenheim lag bei maximal 3,3 Bq/L.

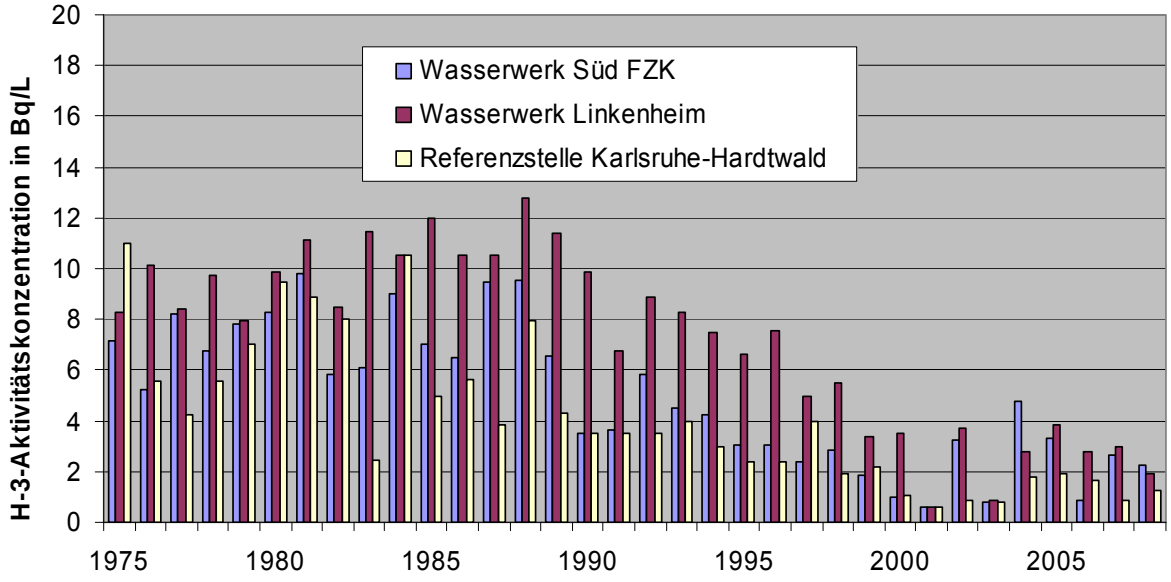


Abb. 7-14: Verlauf der H-3-Aktivitätskonzentration im Trinkwasser aus benachbarten Wasserwerken von 1975 bis 2008

7.2.3.3 Messfahrten im Rahmen des Störfalltrainingsprogramms

Im Rahmen des Störfalltrainingsprogramms werden monatliche Messfahrten zu wechselnden Mess- und Probenentnahmeorten durchgeführt. Die in der Zentralzone (Abb. 7-15) anzufahrenden Stellen wurden gemäß dem Katastropheneinsatzplan des Regierungspräsidiums Karlsruhe für die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe und das Institut für Transurane festgelegt. Ziel dieser Messfahrten ist das Training des Rufbereitschaftspersonals. Alle Messergebnisse wurden in die IMIS-Datenbank eingepflegt und entsprachen den Erwartungswerten.

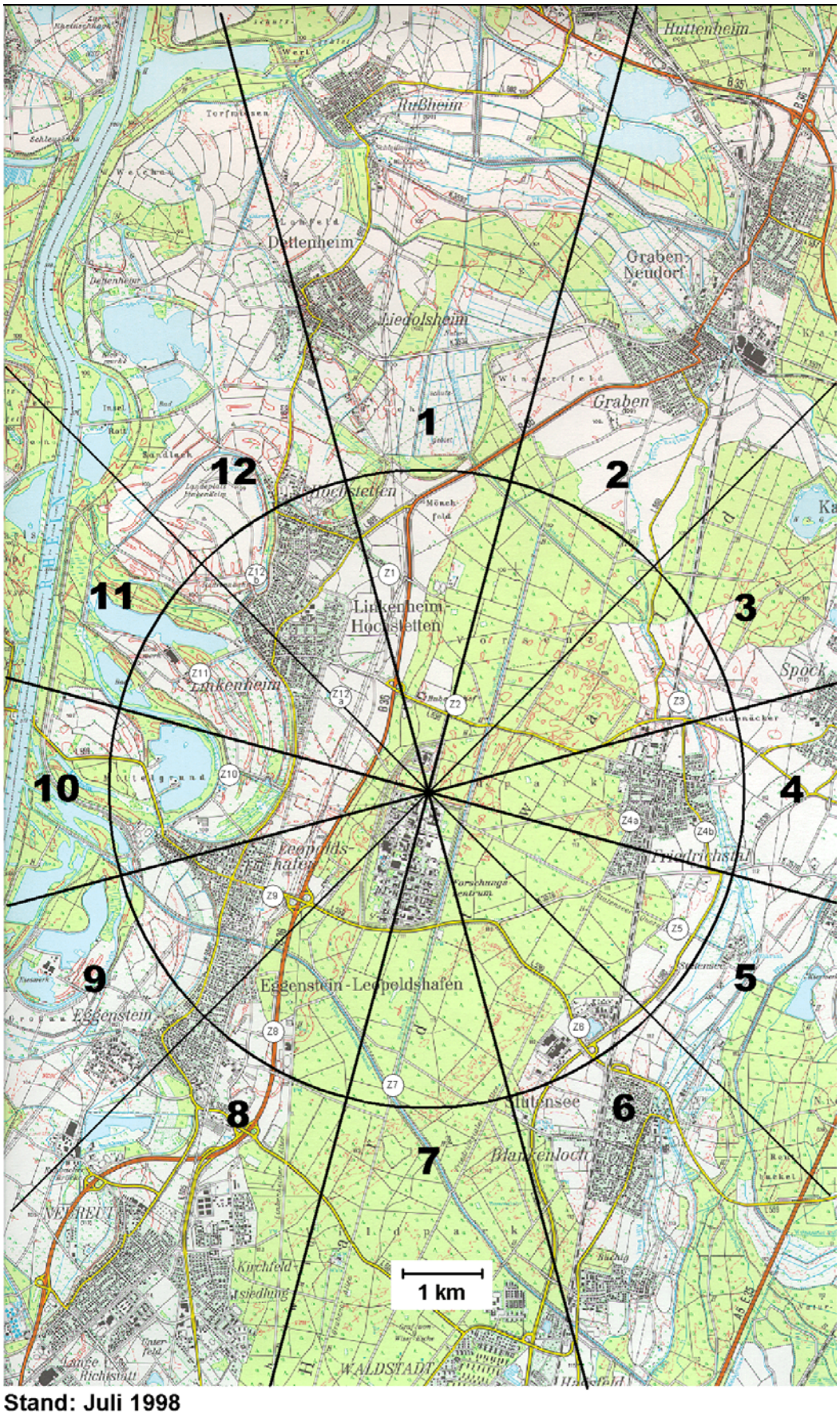


Abb. 7-15: Mess- und Probenentnahmeorte in den Sektoren der Zentralzone gemäß dem Katastropheneinsatzplan des Regierungspräsidiums Karlsruhe

8 Werkschutz

R. von Holleuffer-Kypke

Der Werkschutz hatte im Jahr 2008 keine außergewöhnlichen Ereignisse zu verzeichnen.

Einfluss nahmen jedoch die sich immer stärker ausbildenden geplanten Veränderungen im Rahmen der Neuorientierung (Gründung des KIT) und Umgestaltung (Ausgliederung der kerntechnischen Anlagen) des Forschungszentrums. So wurde ab der 18. KW 2008 auf dem Uni-Gelände (Campus-Süd) in der Universitätsbibliothek ein Fertigungsplatz für KIT-Betriebsausweise, die zum Betreten des Forschungszentrums (Campus-Nord) berechtigen, eingerichtet.

Im Rahmen der personellen Veränderungen wurde die abteilungseigene technische Betreuung der Alarmzentrale mit dem altersteilzeitbedingten Ausscheiden des Technischen Koordinators durch eine in der Hauptabteilung zentralisierte Positionierung ersetzt.

Im letzten Quartal 2008 war die Planung und begann die Ausführung der räumlichen Neustrukturierung im Werkschutz. Ziel ist dabei, dass die gesamte Leitung des Werkschutzes im Erdgeschoss von Bau 0221 eingerichtet ist.

8.1 Werkschutzbereich

B. Ritz

Zur Wahrung von Sicherheit und Ordnung für den Betrieb und die auf dem Gelände sich aufhaltenden Personen unterhält das Forschungszentrum Karlsruhe einen Werkschutz mit Personal im Tagdienst und im Wechselschicht-Betrieb. Der Werkschutz ist hierbei für den Tor- und Pfortendienst, die Alarmzentrale, den Streifendienst und die Schadensaufnahme zuständig.

8.1.1 Anmeldung und Zugang

B. Hehr

Im Jahr 2008 wurden 6 396 neue Betriebsausweise ausgestellt und 4 566 Betriebsausweise eingezogen. Zum Stichtag 31.12.2008 befanden sich 10 813 Betriebsausweise im Umlauf. Die Verteilung der Betriebsausweise nach den einzelnen Einrichtungen ist in Tab. 8-1 aufgelistet.

Einrichtung	Personenstatus	
	aktiv	Ruhestand
Forschungszentrum	3870	2505
FIZ	285	79
ITU	292	129
KBG	0	150
KHG	23	6
Universität	556	0
WAK	290	182
ZAG	26	0
Gäste	103	0
Fremdfirmen	2264	0
Fremdmietverträge	53	0

Tab. 8-1: Betriebsausweise

Da nur Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Forschungszentrums Karlsruhe GmbH und die ihnen gleichgestellten Personen anderer Einrichtungen auf dem Gelände rund um die Uhr Zutritt

haben, wurden von den Organisationseinheiten 5 113 Anträge für Zutritt/Arbeiten außerhalb der Regelarbeitszeit für Fremdfirmenangehörige bearbeitet.

Im Berichtszeitraum erstellte das Personal der Anmeldung 44 131 Besucherausweise (2007: 49 507) und 413 Gruppenpassierscheine (2007: 444) für den Zutritt zum Gelände. Dazu kamen 90 Sonderzutritte (2007: 131) für Kinder unter 16 Jahren, die von den zuständigen Verantwortlichen der besuchten Organisationseinheit erteilt wurden. Für kurzfristig im Forschungszentrum eingesetzte Fremdfirmenangehörige sowie Gäste, Praktikanten, Berufsfinder etc. wurden 2 455 befristete Ausweise (2007: 2 505) ausgestellt. Über Kurse im Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt kamen 2 591 Gäste (2007: 2 342) ins Gelände. Durch die Stabsabteilung Öffentlichkeitsarbeit und andere Organisationseinheiten wurden 221 Besuchergruppen mit 5 786 Besuchern (2007: 233 Besuchergruppen mit 6 176 Besuchern) angemeldet und betreut. An der Lieferzufahrt wurden im Berichtszeitraum für Fremdfirmen und Anlieferer 16 495 Warendurchlasspassierscheine (2007: 18 569) ausgestellt sowie 386 Anlieferungen/Abholungen von radioaktiven Stoffen (2007: 444) bearbeitet. Die im Forschungszentrum tätigen Fremdfirmen hielten sich weitgehend an die Ordnungs- und Kontrollbestimmungen.

Gemäß atomrechtlicher Auflagen wurden Anträge für Zuverlässigkeitsüberprüfungen nach der Atomrechtlichen Zuverlässigkeitsüberprüfungs-Verordnung (AtZüV), bei der Aufsichtsbehörde eingereicht. Die zuständige Behörde hat bis auf wenige Einzelfälle den Zutrittsersuchen stattgegeben.

Bei der Anmeldung wurden im Berichtsjahr 88 Fundgegenstände abgegeben. Die nicht abgeholten Fundsachen wurden der zuständigen Gemeindeverwaltung in Eggenstein-Leopoldshafen übergeben.

8.1.2 Schadensaufnahme

E. Duran, R. Seitz

Die Zahl der gemeldeten Sachschäden liegt im Berichtszeitraum mit 28 Fällen (2007: 26) über dem Niveau des Vorjahres (Tab. 8-2).

Im Berichtszeitraum wurden 7 Diebstähle (2007: 11) gemeldet, mit einem Verlust an Sachwerten von ca. 4 310 € (2007: 106 204 €). Es konnten 3 Delikte aufgeklärt werden.

Schadenskategorie	Jahr	bekannt gewordene Fälle	aufgeklärte Fälle	geschätzter Schaden in T€
Kabelschäden	2006	7	7	27,4
	2007	3	3	4,4
	2008	0	0	0
Lichtmasten	2006	1	1	1,3
	2007	0	0	0
	2008	2	1	4,4
Tore, Einzäunungen, Schranken	2006	6	5	4,4
	2007	12	12	12,0
	2008	8	8	11,6
Gebäude, Sachschäden	2006	28	27	76,9
	2007	58	54	58,8
	2008	8	5	12,3

Schadenskategorie	Jahr	bekannt gewordene Fälle	aufgeklärte Fälle	geschätzter Schaden in T€
Dienst-Kfz	2006	16	16	44,5
	2007	17	16	41,0
	2008	7	6	19,4
Verschiedenes (Fenster, Türen, Bedachungen, Transport- und Sturmschäden)	2006	2	2	1,0
	2007	2	2	5,0
	2008	1	0	0,2
Fahrbahnverunreinigung durch Öl- u. Kraftstoffspuren	2006	7	5	2,7
	2007	2	2	1,0
	2008	4	3	5,6
Summe	2006	67	63	158,2
	2007	94	89	122,2
	2008	30	23	53,5

Tab. 8-2: Sachschäden: Schadenskategorien und Schadenssummen

Mit 34 Verkehrsunfällen verringerte sich die Zahl der aufgenommenen und bearbeiteten Verkehrsunfälle gegenüber dem Vorjahr um 9 Fälle (Tab. 8-3). Bei 16 Unfällen entstand ein Sachschaden unter 1000 €, während bei 18 Unfällen der geschätzte Gesamtschaden bei 74 600 € lag (2007: 80 970 €). Darüber hinaus waren 4 Unfälle mit Personenschaden (2007: 5) zu bearbeiten. Sieben Verkehrsunfälle mit unerlaubtem Entfernen vom Unfallort (2007: 6) waren zu verzeichnen. Ein Verursacher konnte ermittelt werden. Bei den restlichen Geschädigten musste der Schaden in Höhe von ca. 5 370 € (2007: 5 760 €) selbst getragen werden.

Monat	Anzahl der Verkehrsunfälle 2006	2007	2008	Sachschaden < 1000 €	Sachschaden > 1000 €	Personenschäden
Januar	5	5	3	2	1	0
Februar	5	4	2	1	1	0
März	5	2	2	1	1	0
April	2	1	4	3	1	0
Mai	2	1	2	0	2	3
Juni	7	2	6	2	4	1
Juli	0	1	7	3	4	0
August	5	5	0	0	0	0
September	6	4	1	1	0	0
Oktober	5	3	0	0	0	0
November	2	7	3	1	2	0
Dezember	2	8	4	2	2	0
Gesamt	46	43	34	16	18	4

Tab. 8-3: Verkehrsunfälle 2008

Im Berichtszeitraum mussten 21 (2007: 45) Absperrungen und Arbeitsstellensicherungen betreut und überwacht werden.

8.1.3 Schlüsselverwaltung

E. Duran, R. Seitz

Die Schließebenen der Gebäude des Zentrums sind in General-, Haupt-, Obergruppen-, Gruppen- und Einzelschließungen unterteilt. Aus allen Schließsystemen ergibt sich ein Bestand von 30 903 Schließzylindern (2007: 30 515) und 111 266 Einzel- u. Gruppenschlüsseln (2007: 109 636). Nach der Neukonzeption von Schließanlagen, die sich wegen der Errichtung von Neubauten oder durch Änderungen in Arbeitsabläufen ergaben, mussten 398 Schließzylinder (2007: 523) und entsprechende Schlüssel neu beschafft werden. Eine geringe Anzahl von Schließzylindern und Schlüsseln war defekt oder abgenutzt und musste deshalb erneuert oder ausgewechselt werden. Im Berichtszeitraum mussten 504 Schlüsselbewegungen (2007: 523) bearbeitet werden.

8.1.4 Wechselschicht-Betrieb

B. Ritz

Zur Wahrung von Sicherheit und Ordnung für den Betrieb und die Belegschaft unterhält das Forschungszentrum Karlsruhe einen Werkschutz im Wechselschicht-Betrieb. Der Werkschutz kontrolliert den Zugang an den Toren, bestreift vorgegebene Gebäude und die nicht zu kerntechnischen Inseln gehörenden Lagerbereiche sowie das Freigelände.

Während der Streifentätigkeit achtet der Werkschutz auf die Einhaltung der Bestimmungen des Arbeitsschutzes, des vorbeugenden Brandschutzes und des Umweltschutzes.

An den Toren des Forschungszentrums-Geländes wurden im Berichtszeitraum stichprobenartig 2 800 Eigentumskontrollen (2007: 2 933), teilweise in Zusammenarbeit mit dem Strahlenschutz, durchgeführt.

In der Alarmzentrale sind im Berichtsjahr 1 046 Alarm- und Störmeldungen (2007: 1 082) eingegangen und bearbeitet worden. Im Einzelnen waren es folgende Meldungen, getrennt nach Auslösungsursache:

Brandmeldungen	162	Technische Sicherheit	232
Objektalarme	50	Feststellungen	460
Alarmübungen	14	Sankra-Einsatz	92
Deko-Einsatz	36		

Alle in der Alarmzentrale eingesetzten Mitarbeiter wurden weiterhin praxisbezogen weitergebildet, so dass in diesem Bereich stets ein fachkundiger Umgang mit den hoch entwickelten technischen Systemen gewährleistet ist. Die in der Alarmzentrale installierten rechnergestützten Systeme wurden softwaremäßig der technischen Entwicklung angepasst, um die Einsatzfähigkeit und Kompatibilität mit Erweiterungen sicherzustellen. Um auch bei technischem Ausfall eine zügige und kompetente Abwicklung in Alarm- und Störfällen zu garantieren, wird als Redundanz zu den vorhandenen software-gestützten Informationen auch weiterhin eine Handdatei geführt.

8.2 Werkfeuerwehr

W. Lang

Zum vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz sowie zur Behebung akuter Notsituationen unterhält die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH eine Werkfeuerwehr, deren Stärke 28 Mitarbeiter beträgt. Die Werkfeuerwehr ist in einem Zwei-Schichten-Betrieb rund um die Uhr auf dem Gelände des Forschungszentrums anwesend. Während der Regelarbeitszeit ist der Leiter der Werkfeuerwehr für den Dienstbetrieb verantwortlich; außerhalb der Regelarbeitszeit obliegt diese Aufgabe dem diensthabenden Schichtführer. Reicht die anwesende Mannschaftsstärke der

Werkfeuerwehr zur Schadensabwehr nicht aus, wird die Rufbereitschaft der Werkfeuerwehr alarmiert oder Überlandhilfe angefordert.

Im Berichtszeitraum kam es zu 364 feuerwehrtechnischen Einsätzen. Im Einzelnen waren es folgende Einsätze:

Technische Hilfeleistung	172	Brandmeldealarme	93
Personenbefreiung aus Aufzügen	19	Einsätze zur Tierrettung	8
Brandeinsätze	11	Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen	8
Überlandhilfe	3	Sonstige	32

Im Rahmen von wiederkehrenden Prüfungen und von regelmäßigen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten im baulich-technischen und vorbeugenden Brandschutzes wurden gewartet und geprüft:

Fahrbare Feuerlöscher	14	Löschdecken	75
Handfeuerlöscher	2395	Überflurhydranten	134
Wandhydranten nass/trocken		Personen- u. Lastenaufzüge	264
Sprühwasserlöschanlagen	275	Brandschutztore und Türen	498
Berieselungsanlagen		CO_2 Löschanlagen	5

Im vorbeugenden Brandschutz wurden durch den Leiter der Werkfeuerwehr 153 Orts- und Brandschutzbegehungen durchgeführt. Dazu gehören die ebenfalls betreuten Einrichtungen Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK), Institut für Transurane (ITU), Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG) und Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ). Dazu kamen noch Überwachungen und Kontrollen von 364 Erlaubnisscheinen für Schweiß-, Schneid-, Löt- und Auftauarbeiten in feuergefährdeten Bereichen.

In der Atemschutzzentrale der Werkfeuerwehr wurden die Atemschutzgeräte aus Instituten und Abteilungen des Forschungszentrums, dem ITU und aus den Stilllegungsprojekten Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK) und Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR) gewartet und geprüft sowie desinfiziert. Im Einzelnen wurden folgende Stückzahlen erreicht:

Atemschutzmasken gereinigt, desinfiziert, gewartet und geprüft	20804
Pressluftatmer gewartet und geprüft	310
Lungenautomaten gewartet und geprüft	548
Druckluftflaschen (Volumen < 50 l) gefüllt	1030
Absturzsicherungen vom ganzen Forschungszentrum gewartet u. geprüft	98
Prüfungen der Chemikalien-Schutzanzüge (CSA)	59
Ortsfeste Leitern	3

Die Werkfeuerwehr ist auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes für das Bestellen, Einlagern, Ausgeben und Verbuchen des notwendigen Materials zuständig. Es wurden 1 312 Wareneingänge und –ausgänge ausgeführt und 148 Beschaffungsaufträge und 297 Materialentnahmescheine bearbeitet.

Für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an über tausend Dienstfahrrädern des Forschungszentrums wurden von der Werkfeuerwehr 294 Stunden aufgebracht.

Die Ausbildung setzt sich zusammen aus der Weiterbildung der eigenen Mitarbeiter der Werkfeuerwehr und aus der Vermittlung von feuerwehrspezifischem Grundwissen im Rahmen der

Brandschutzvorsorge an betriebseigenes und externes Personal. Hinzu kommt die feuerwehrspezifische Ausbildung in der forschungszentrumseigenen Atemschutzübungsanlage. Es wurden folgende Übungen und Kurse durchgeführt:

Alarmübungen	10
Ausbildung zur Brandverhütung und Brandbekämpfung mittels Handfeuerlöscher (mit insgesamt 300 Teilnehmern)	18
Atemschutzkurse (mit insgesamt 528 Teilnehmern)	67
Ausbildung in der Atemschutzübungsanlage insgesamt (mit 1 147 Teilnehmern)	104

Im Rahmen der Weiterbildung der Mitarbeiter der Werkfeuerwehr wurden Kurse zur Qualifizierung des Einsatzpersonals u. a. an der Landesfeuerwehrschule in Bruchsal besucht. Insgesamt konnten im Berichtszeitraum 257 weitere Qualifikationen in 28 verschiedenen Kursen erworben werden.

8.3 Einsatzleitung und Einsatzplanung

W. Lang

Die Funktion des Einsatzleiters wird vom Kommandanten der Werkfeuerwehr des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH bzw. dem ihn vertretenden Schichtführer wahrgenommen. Damit ist sichergestellt, dass er jederzeit erreicht werden kann. Er verfügt über entsprechende Fähigkeiten und ist für diese Aufgabe ausdrücklich bestellt. Der Einsatzleiter handelt für den Vorstand oder den Sicherheitsbeauftragten. Er übernimmt im Alarmfall die Einsatzleitung. Der Einsatzleiter ist verantwortlich für die Durchführung aller Maßnahmen, die bei drohender Gefahr, Personenschäden, Brandeinsätzen, Technischer Hilfeleistung, Strahlenunfällen oder sonstigen Schadensfällen zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit ergriffen werden müssen. Er sorgt weiterhin für die Einhaltung der Meldeverpflichtungen des Forschungszentrums Karlsruhe, indem er über die Alarmzentrale des Forschungszentrums gemäß den Melderegelungen die Meldungen absetzt. Für die Terminverfolgung von Folgemeldungen ist die Alarmzentrale zuständig.

8.3.1 Einsatzplanung

Zur Planung und Vorbereitung der Einsätze muss der Einsatzleiter über aktuelle Einsatzunterlagen verfügen. Dabei unterstützt ihn die Arbeitsgruppe „Einsatzplanung“ bei der Feuerwehr, die folgende Aufgabe hat:

- Umsetzen, Aktualisieren und Kontrollieren der einsatzspezifischen Unterlagen
- Aktualisieren der Einsatzpläne
- Aktualisieren und Kontrollieren der Brandbekämpfungspläne.

Damit der Einsatzleiter jederzeit auf gut geschultes Einsatzpersonal zurückgreifen kann, sorgt er zusammen mit der Feuerwehr auch für die Betreuung und Weiterbildung der Einsatztrupps des Forschungszentrums.

8.3.2 Statistik und Analyse der Einsatzleiter-Einsätze

Der Einsatzleiter wird üblicherweise über die Alarmzentrale des Forschungszentrums alarmiert. In allen Fällen konnten die Einsatzkräfte des Forschungszentrums durch rasches und zielgerichtetes Handeln die Auswirkungen der Störungen auf ein Minimum begrenzen.

Zum Einsatzschwerpunkt „Feueralarm“ zählen alle Einsätze, die im Zusammenhang mit der Alarmart „Feuer“ ein Tätigwerden des Einsatzleiters erforderlich gemacht haben, unabhängig davon ob es tatsächlich gebrannt oder nur ein Fehlalarm vorgelegen hat. Eine große Zahl der

Fehlalarme ist darauf zurückzuführen, dass nahezu alle Gebäude und Anlagen auf dem Gelände des Forschungszentrums mit automatischen Brandmeldeanlagen ausgestattet sind, die bereits durch Schweiß-, Löt- oder Trennarbeiten im Rahmen von Umbaumaßnahmen oder durch Abgase von Verbrennungsmotoren der in Gebäude einfahrenden Transportfahrzeuge ansprechen können.

In den Einsatzschwerpunkt „Technische Hilfe und Sonstiges“ fallen alle Maßnahmen, die zur Wiederherstellung der technischen Sicherheit dienen. Hierzu gehören Hilfemaßnahmen bei der Behebung von Störungen an Lüftungs-, Klima-, Heizungs-, Kühl-, Abwasser-, Überwachungs-, Warn- und Medienversorgungsanlagen, Experimentiereinrichtungen, Freisetzung von Chemikalien, Sturm- und Wasserschäden, Verkehrs- und Arbeitsunfälle.

In den Einsatzschwerpunkt „Gerätestörungen“ werden Einsätze eingestuft, bei denen insbesondere bei Fort- und Raumluftüberwachungsanlagen sowie bei anderen diversen Messgeräten Störungen auftraten.

In den Einsatzschwerpunkt „Wasserstörung“ werden Einsätze eingestuft, bei denen es zum Auslaufen von Wasser kam. Bei mehr als der Hälfte der Einsätze waren die Ursachen Undichtigkeiten in Rohrleitungssystemen. Weiterhin führten nicht ordnungsgemäß befestigte Schläuche an Versuchsständen zu Wasserstörungen.

Während der regulären Dienstzeit werden auftretende Störungen vom Betriebspersonal in der Regel schnell erkannt und mit Hilfe der Wartungsdienste rechtzeitig behoben und somit in ihren Auswirkungen begrenzt. Störungen außerhalb der normalen Arbeitszeit werden jedoch erst durch Ansprechen von sicherheitstechnischen Meldeeinrichtungen bzw. bei Kontrollgängen durch Mitarbeiter des Werkschutzes bekannt. Die technischen Einsatzdienste, Rufbereitschaften, Werkfeuerwehr und der Einsatzleiter garantieren eine qualifizierte Behebung der Störung.

8.3.3 Übungen der Einsatzdienste

Vom Forschungszentrum werden über 24 Stunden folgende Einsatzdienste vorgehalten:

- Einsatzleiter
- Werkfeuerwehr
- Werkschutz
- Med. Abteilung (Ambulanz)
- BTI (Bereich Technische Infrastruktur)
- Strahlenschutz

Aufgabe der Einsatzdienste ist es, die zur sofortigen Gefahrenabwehr notwendigen Maßnahmen durchzuführen, um Schaden für Mensch und Umwelt so gering wie möglich zu halten. Zu diesem Zweck unterhält das Forschungszentrum ständige Einsatzdienste, die im Bedarfsfall durch Einsatztrupps verstärkt werden können. Diese Einsatztrupps setzen sich wie folgt zusammen:

- Strahlenmesstrupp 10 Personen
- Sanitätstrupp 12 Personen
- Dekontaminationstrupp 5 Personen

Im Jahr 2008 wurden 10 Alarmübungen durchgeführt. Übungszwecke waren Alarmierung, Kommunikation, Zusammenwirken der Einsatzkräfte, Menschenrettung unter schwierigen Bedingungen, Versorgung der Verletzten, Umgang mit Gefahrenstoffen, Strahlenschutz- und Messaufgaben. Neben den ständigen Sicherheitsdiensten wurden auch die Einsatztrupps und das Betriebspersonal der betroffenen Institute in die Übungen mit einbezogen.

9 Zentrale Aufgaben

A. Bickel, M. Gehle, S. Heise

Die „Stabsstelle Zentrale Aufgaben“ nimmt Querschnittsaufgaben der Hauptabteilung Sicherheit selbst wahr oder unterstützt abteilungsübergreifend oder zentrumsweit wirkende Prozesse koordinierend. Neben abteilungsübergreifenden kleineren Einzelprojekten waren die Arbeitsschwerpunkte im Berichtsjahr der Betrieb der HS-Datenverarbeitung im weitesten Sinn, sowie die Erweiterung des auf den neuen Ausweisen aufsetzenden Schlüsselersatzsystems. Darüber hinaus wurde im Berichtsjahr das Qualitäts-Management-System der Hauptabteilung Sicherheit weiter ausgebaut (siehe Kap. 10).

9.1 Datenverarbeitung der Hauptabteilung Sicherheit

D. Bosch, T. Dunker, M. Gehle, D. Meyer, H. Petermann, F. Stelzig, R. Wörl

Der Datenverarbeitung kommt durch ständig wachsenden Bedarf an Daten und deren Auswertung sowie durch die damit zu erledigenden, meist gesetzlich vorgeschriebenen Dokumentationspflichten eine stetig wachsende Bedeutung zu. Das drückt sich auch dadurch aus, dass im Netzwerk (LAN) der HS zur Zeit ca. 250 Benutzerkonten, ca. 260 PCs und diverse Serverdienste wie Datenbank-, Druck- und WWW-Server auf ca. 15 Hardwareservern sowie einer wachsenden Anzahl von virtuellen Servern zu betreuen sind.

Die Hauptschwierigkeit bei Wartungsarbeiten und bei der Umsetzung der weiter unten genannten Tätigkeiten und Systemänderungen bestand und besteht darin, dass sie im laufenden operationellen Betrieb mit möglichst kurzen Unterbrechungen durchzuführen sind. Inzwischen wird in der HS ein sehr hoher Standard der IT-Sicherheit und Verfügbarkeit erreicht.

9.1.1 IT-Infrastruktur

Die Hardware-Server der HS sind weitgehend in der Win2000 HS-Domain zusammengefasst. Eine ältere NT-Domäne ist für das von HS entwickelte Content Management System „Karlsruher Informations- System Sicherheit“ erforderlich, da es auf einer unter WinNT laufenden Lotus Notes Installation basiert, die vorerst nicht auf Win2000 umgestellt werden soll. Außerhalb der mit dem Zentrumsnetz verbundenen Domänen existiert weiterhin das geschlossene Netz für die Gefahrenmeldesysteme in der Alarmzentrale.

Die Endgeräte, meist PCs, sind inzwischen mit wenigen Ausnahmen auf das Betriebssystem WinXP umgestellt. Durch die in diesem Betriebssystem integrierten remote Funktionen ist eine sichere Fernwartung und Fernbenutzerhilfe durch Administratoren und Techniker möglich, ebenso wie die zentral gesteuerte Verteilung von Software, Updates, Sicherheitspatches, Virensignaturen, etc.

Im Berichtszeitraum mussten ca. 280 Computer mit Peripherie (Bildschirm, Drucker, Scanner, etc.) hardware- und softwaremäßig betreut und gewartet werden. Dazu gehörte z. B. die Anpassung von Office2003 für den jeweiligen Anwender nach Installation des Office-Paketes, die Prüfung der Rechner auf Virenbefall und deren Bereinigung. Aufgrund der Tatsache, dass viele PCs mit HS-spezifischer Sondersoftware ausgestattet sein müssen, ist hier ein hoher Aufwand an Betreuung erforderlich.

9.1.1.1 LAN

Die HS hat praktisch in allen Teilen des Zentrums Aufgaben zu erledigen für die HS-EDV Dienste erforderlich sind. Ca. 25 Gebäude bzw. Gebäudeteile sind derzeit mit HS direkt vernetzt, wobei die meisten Endgeräte in einem eigenen virtuellen LAN verbunden sind. Endgeräte, die in ca. 10 nicht zu HS gehörenden Netzsegmenten des Zentrums stehen, sind selbst hinter fremden Firewalls transparent mit dem HS-Netz verbunden.

Alle physischen HS-Teilnetze, die gemeinsam das virtuelle HS-LAN bilden, sind redundant an die ebenfalls redundanten zentralen Router des Zentrums-LAN bei IWR angebunden.

9.1.1.2 Hochverfügbare Server-Infrastruktur (Cluster)

Die Absicherung aller aktiven Netzkomponenten und aller produktiven Server durch unterbrechungsfreie Stromversorgungen und die Verwendung von Serverhardware, die in allen wesentlichen Komponenten redundant ausgelegt ist, bieten eine sehr hohe Sicherheit gegen den Ausfall dieser Hardwarekomponenten. Dagegen kann durch diese Maßnahmen bei Ausfall eines ganzen Standortes, z. B. durch Feuer, Löschwasser oder Störungen der LAN-Anbindung von Gebäuden (z.B. durch Kabelschaden), die Funktionalität der HS-EDV nicht sichergestellt werden. Davon betroffen wären u. a. die zentrumsweit verteilten Dosimetriesysteme mit den Zutrittsprüfungen für Strahlenschutz-Kontrollbereiche, Schlüsselersatzsysteme, Programme für Material- und Personenzugänge und nicht zuletzt die Arbeitsfähigkeit der HS-Mitarbeiter durch fehlenden Zugriff auf Programme und Daten.

Um solche Funktionsausfälle oder Beeinträchtigungen eines Standorts beherrschen zu können, werden zwei Server-Cluster betrieben, deren Komponenten auf mehrere Standorte verteilt sind. Die Lösung stellt bei einer Fehlfunktion durch Hardwareausfälle einzelner Komponenten oder Netzverbindungen sicher, dass alle Programme und Daten für die Benutzer ohne administrativen Eingriff nahezu unterbrechungsfrei zur Verfügung stehen. Außerdem erleichtert die Cluster-Funktionalität notwendige Wartungsarbeiten. Die Ressourcen eines Cluster-Knotens (File- bzw. Datenbank-Server) können in betriebsarmen Zeiten (nachts) auf den anderen Knoten verlagert werden. Auf dem freien Knoten können danach, ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebs, z. B. Sicherheitsupdates installiert werden.

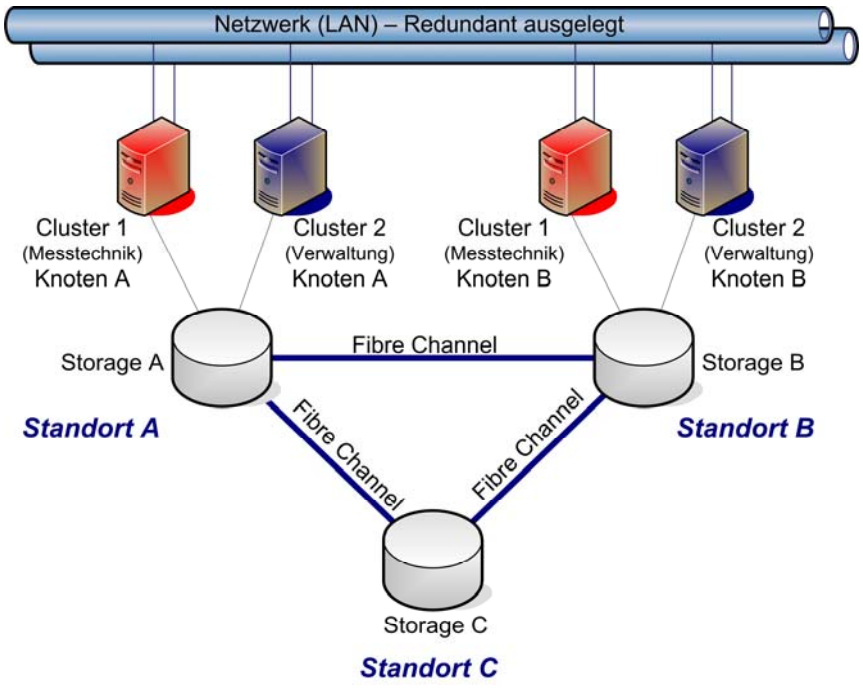


Abb. 9-1: Aufbau der hochverfügbaren HS-Server-Infrastruktur (Cluster)

Zur Spiegelung der Datenbestände wird eine Softwarelösung eingesetzt. Als Sicherheitsvorkehrung zur Vermeidung von Dateninkonsistenzen setzt diese Software ein Mehrheitsprinzip ein. Der Zugriff auf die Datenbestände ist nur dann möglich, wenn eine Mehrheit der existierenden Storage-Systeme verfügbar ist. Bei zwei vorhandenen Systemen und Ausfall eines Standorts, stellt das verbleibende System jedoch keine Mehrheit mehr dar. Damit die automatische Um-

schaltung im Fehlerfall funktioniert, wird an einem dritten Standort ein weiteres Storage-System betrieben, welches mit den beiden anderen Systemen per Glasfaser verbunden ist. Bei Ausfall genau eines Standorts bilden die beiden anderen Systeme dann weiterhin eine Mehrheit und die automatische Umschaltung funktioniert. In Tests wurde dies erfolgreich nachgewiesen. In Abb. 9-1 ist die Verteilung der Server und Storage-Systeme auf die drei Standorte und die Vernetzung dargestellt.

9.1.1.3 Gruppendrucker

Um die Anzahl der arbeitsplatzgebundenen Einzeldrucker zu reduzieren und dadurch Kosten einzusparen, wurde im Berichtszeitraum die Anzahl der Gruppendrucker erhöht.

9.1.2 Elektronische Dosimetrie

Alle Kontrollbereiche des Forschungszentrums sind inzwischen mit elektronischen Dosimetrie-Systemen ausgestattet. Die Dosimeter und die Software zum Auslesen und Steuern dieser Strahlendetektoren stammen von der Fa. RADOS. Die Betreuung bei Problemen mit der Hard- oder Software erfolgt für das gesamte Personen-Dosimetrienetz des Zentrums zentral durch HS-ZA.

9.1.3 Spezielle HS-Programme

Einige der bestehenden HS-eigenen Intranet-Anwendungen wurden um weitere Funktionalitäten erweitert und aktualisiert.

Für die akkreditierten Messlaboratorien wurde das bisherige HS-Personenverwaltungsprogramm umstrukturiert und erweitert, um den technischen Lebenslauf von Mitarbeitern dokumentieren zu können. Zudem wurden für das Qualitätsmanagement Bewertung und Statistikauswertungen von Schulungsmaßnahmen programmiert.

<u>Buchführungs- und Dokumentationsprogramm zu § 29 StrlSchV (BuFreiA):</u>

Die Entwicklung der Webanwendung zur Freigabe nach § 29 (BuFreiA) wurde, bis auf Berichts-Funktionalitäten (Jahresbilanz), fertig gestellt. Der definierte Workflow eines Freigabe-Vorgangs kann nun elektronisch abgehandelt werden. Jede der berechtigten „Personengruppen“ (OE-Sachbearbeiter, OE-SSB, Bereichsleiter, Freigabe-SSB und Buchführungs-SSB) kann die sie betreffenden Informationen innerhalb des Programmablaufs anzeigen bzw. bearbeiten und wird per Email über erforderliche Tätigkeiten/Vorgangs-Stati informiert.

Ab Mitte Oktober 2008 wird BuFreiA testweise für den Bereich „HDB“ eingesetzt. Die produktive Inbetriebnahme des Programms für den Bereich „HDB“ ist für Anfang 2009 geplant.

<u>Buchführungsprogramm BuFreiB:</u>

Das Programm zur elektronischen Abbildung und Verwaltung von Freigabebescheiden wurde um die Möglichkeit zur Verwaltung und Zuordnung von Verbleiben zu Bescheidversionen erweitert. Die vorhandenen Informationen zu Freigabearten wurden um die Angabe zum erforderlichen Verbleib (für BuFreiA) ergänzt. Des Weiteren wurden noch von BuFreiA benötigte Schnittstellen zum Datenzugriff implementiert, sowie die Anzeige einer Bescheid-Lesefassung von BuFreiA aus ermöglicht.

Im Rahmen der BuFreiA-Testphase wurden die aktuell gültigen Freigabebescheide mit zugehörigen Informationen in die Anwendung eingepflegt.

<u>Fotoimportfunktion für das Programm „FZK-Anmeldung“</u>

Zur Vereinfachung der Betriebs-Ausweiserstellung für den FZK-Standort Garmisch Patenkirchen wurde in das Programm „FZK-Anmeldung“ eine Importfunktion für extern aufgenommene Mitarbeiterfotos in den Personendatensatz integriert.

Ausweiserstellungssystem Universitätsbibliothek

Zur Erstellung einer FZK-Zutrittskarte mit begrenzter Gültigkeitsdauer für Studierende und Uni-Mitarbeiter wurde in der Bibliothek der Uni Karlsruhe ein neues Ausweiskartendruck-System installiert. Hierzu wurde ein Arbeitsplatz-PC mit entsprechender Software über V-LAN mit dem HS-LAN gekoppelt; ein Farb-Kartendrucker sowie eine Webcam wurden ebenfalls bereitgestellt. Zur Datenerfassung und –überprüfung wurde eine Webanwendung implementiert und in Betrieb genommen.

Software für gentechnische Aufzeichnungen – „GentechExplorer“

Zur Unterstützung der nach Gentechnikrecht geforderten Dokumentation der im FZK ansässigen gentechnischen Anlagen wurde ein Web basiertes Softwaresystem beschafft. Hiermit können dezentral die jeweiligen Beauftragten für die Biologische Sicherheit, Projektleiter und Wissenschaftler die zur gesetzeskonformen Aufzeichnung dienende Angaben Browser gestützt und systemunabhängig in einer Datenbank speichern. Die Software dient weiterhin der Überwachung durchgeführter Aufzeichnungen durch die verantwortlichen Beauftragten für die Biologische Sicherheit und den Betreibervertreter.

Die für den Betrieb der Software erforderliche Rechnerhardware wurde von HS-ZA bereitgestellt, das erforderliche Linux-Betriebssystem installiert und zur Einbindung in die FZK-IT-Infrastruktur konfiguriert. Nach Abschluss der Testphase des Gesamtsystems wurde der GentechExplorer für den Produktivbetrieb freigegeben.

9.2 Abteilungsübergreifende Arbeiten

A. Bickel, M. Gehle

Die Koordination abteilungsübergreifender Arbeiten befasste sich im Berichtsjahr wieder mit der Neu- und Weiterentwicklung zentraler Datenverarbeitungsprogramme. Dabei war regelmäßiger Abstimmungsbedarf mit den Beteiligten in den verschiedenen Abteilungen oder Arbeitsgruppen erforderlich.

Darüber hinaus ergaben sich Koordinationsaufgaben wieder bei der inhaltlichen Begleitung des Änderungsbedarfs am zentrumsinternen Strahlenschutzregelwerk, d. h. Regeländerungen wurden unter dem Aspekt der Konsistenz mit vorhandenen Workflows überprüft und abgeglichen.

Insbesondere das sich in der Entwicklung befindliche Buchführungs- und Dokumentationsprogramm zu § 29 StrlSchV, in dem auch ein Workflow integriert wird, verursachten einen hohen Koordinationsaufwand zwischen den verantwortlichen Strahlenschutzbeauftragten sowie Sachbearbeitern bei HS-TBG, HS-ÜM und den Entwicklern bei HS-ZA.

Ähnliches gilt auch für die Fortschreibung der Buchführungsprogramme für radioaktive Stoffe (BURAST), für die EURATOM Kernbrennstoffbuchführung (KMÜ) (siehe Kap.5.2.6) und für die Verwaltungsprogramme der atomrechtliche Genehmigungen (BUGEN) und der Freigabebescheide nach § 29 StrlSchV (BUFREIB).

Zukünftig sollen die Abfallströme des Forschungszentrums Karlsruhe über SAP erfasst werden. Abfälle sollen, gegliedert nach festgelegten Abfallschlüsseln (ähnlich einem Wareneinkauf) von den OE bei BTI angemeldet werden („elektronischer Abgabeschein“). Um sicherzustellen, dass Abfälle, die aus Bereichen stammen, in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, den Vorgaben des Strahlenschutzregelwerkes entsprechen, wurde in Zusammenarbeit mit OKD, BTI, HS-ÜM und HS-TBG ein entsprechender Workflow mit Berechtigungsstrukturen entwickelt, der im Jahr 2008 fertig gestellt wurde und in die Testphase übernommen wurde.

9.2.1 Erweiterung des Schlüsselersatzsystems

Das Schlüsselersatzsystem der Firma Interflex wurde im Jahresbericht 2006 ausführlich vorgestellt.

Im Berichtszeitraum wurden weitere Gebäude mit dem Schlüsselersatzsystem ausgestattet.

9.3 Unterstützende Tätigkeiten

H. Stengel

In Zusammenarbeit mit den Vorgesetzten in Abteilungen und Arbeitsgruppen und mit den Betriebsbeauftragten der HS-Gebäude soll ein reibungsloser Betriebsablauf durch intakt gehaltene Infrastruktur und Basis-Services erreicht werden. Dabei sollen allerdings die Zuständigkeiten der jeweiligen Betriebsbeauftragten nicht verlagert werden.

Von den Betriebsbeauftragten der HS-Gebäude ist eine Vielzahl von Aufgaben zu erledigen. Um diese zu entlasten, werden einige der Aufgaben, die in allen HS-Gebäuden gleichermaßen anfallen zentral durch ZA erledigt.

Ein zeitintensiver Posten ist dabei die Erledigung von gemäß den berufsgenossenschaftlichen Regelungen erforderlichen wiederkehrenden Prüfungen wie:

- Wiederkehrende Prüfung von Augenduschen (in der Regel monatlich)
- Prüfung von Erste-Hilfe-Kästen (in der Regel jährlich)
- Prüfung von nicht-ortsfesten elektrischen Betriebsmitteln (in der Regel drei- bis fünfjährig)

Insbesondere die letztgenannte Prüfung, die in Zusammenarbeit mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus den einzelnen Abteilungen und der Hilfe einer externen Firma erledigt wurde, hat sich als sehr zeitintensiv erwiesen. Zum einen Teil, weil die Anzahl der zu prüfenden Betriebsmittel in der HS mehr als 1700 beträgt und zum anderen Teil, weil diese zuerst in einer Datenbank neu erfasst werden mussten.

Des Weiteren werden folgende Arbeiten zur Zeit regelmäßig in allen HS-Gebäuden erledigt:

- Regelmäßige Überprüfung von Hausinstallationen und Sicherheitseinrichtungen
- Veranlassung von Instandhaltungs- oder Sanierungsarbeiten
- Durchführung von Kleinreparaturen oder Montagearbeiten
- Entsorgung von Sondermüll
- Entsorgung bzw. Abgabe von Altgeräten und Altmöbel im Gerätelager oder bei der Abfallentsorgung
- Transportfahrten, Personenfahrten und Servicefahrten, sowie Botengänge im Forschungszentrum
- Unterstützung bei Umzügen, inkl. kleinere Änderungen an Büroeinrichtungen
- Betreuung des Gaslagers B 122, d. h. Stickstoffbündel nach Bestellung und Lieferung an- und abklemmen
- Kontrolle der Reststofflager in B 439 und B 436
- Servicefahrten zum Regierungspräsidium Karlsruhe (z. B. zur Registrierung von Strahlenpässen

- Gasversorgung von Argon/Methan für HS-KES (diese werden rund um die Uhr benötigt, d. h. dass immer ein Gasbündel in Betrieb und ein weiteres Bündel in Reserve stehen muss, wobei beide Bündel über einen Ambimat verbunden sind)
- Manuelle Umschaltung der Methan- und Propangas-Versorgungsanlage
- Tägliche Überprüfung der Gasanlagen auf ihren Zustand
- Rechtzeitiges Bestellen sowie das Austauschen der Gasflaschen
- Abfüllung von Flüssigstickstoff für HS-KES an der stationären Abfüllstation (ca. acht Kannen wöchentlich)
- Wiederkehrende Prüfungen der Gebäudetechnik
- Besorgung und Bestellung von Lager- und Verbrauchsmaterial
- Entgegennahme und Auslieferung von Lieferungen
- Überwachung der Arbeiten von Fremdfirmen
- Bereitstellung und Veranlassung zur Reinigung von Dienstwäsche
- Beschließung von Räumen bei Zutritt berechtigter Mitarbeiter oder von Wartungspersonal
- Betreuung des Dienstfahrzeuges

10 Management-Systeme in der Hauptabteilung Sicherheit

S. Heise, M. Fellhauer

Die Anforderung an das Qualitätsmanagementsystem der Hauptabteilung Sicherheit besteht darin, dass es flexibel angewandt werden kann, sowohl für die Akkreditierungen der einzelnen bei der Hauptabteilung Sicherheit angesiedelten Laboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025, als auch für die Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001 für die anderen Bereiche der Hauptabteilung. Dazu wurde ausgenutzt, dass bei der Norm DIN EN ISO/IEC 17025 zur Akkreditierung zwei Teile zu berücksichtigen sind: a) ein allgemeiner Teil für das Managementsystem und b) spezielle Anforderungen für die Laboratorien gemäß Kapitel 5. Der allgemeine Teil der DIN EN ISO/IEC 17025 für das Managementsystem ist nahezu identisch mit den Vorgaben der DIN EN ISO 9001. Deshalb wurde das Qualitätsmanagementsystem der Hauptabteilung Sicherheit so aufgebaut, dass die Forderungen nach der Zertifizierungsnorm für alle Bereiche, einschließlich der zu akkreditierenden Laboratorien, gelten und zusätzlich, für eben diese zu akkreditierenden Laboratorien die speziellen Forderungen nach Kapitel 5 der DIN EN ISO/IEC 17025 modular angesetzt werden können.

10.1 Zertifizierung der gesamten Hauptabteilung Sicherheit

Im Herbst 2008 stand die erste Überwachung der Zertifizierung der Hauptabteilung Sicherheit gemäß DIN EN ISO 9001 an. Das Überwachungsaudit fand vom 22.09.2008 bis zum 24.09.2008 statt und hatte die Schwerpunktthemen Arbeitssicherheit, Notfallvorsorge, Strahlenschutz und Qualitätsmanagement, die von zwei externen Auditoren des TÜV NORD CERT bewertet wurden.

Die beiden Auditoren stellten zwei Abweichungen fest und sprachen insgesamt 15 Empfehlungen für Verbesserungspotential aus. Die Abweichungen waren bis zum 21.11.2008 abschließend zu bearbeiten. Die vorgeschlagenen Korrekturmaßnahmen wurden von den Auditoren anerkannt. Einige der Empfehlungen zur Verbesserung konnten schon umgesetzt werden.

Die Hauptabteilung Sicherheit konnte nachweisen, dass sie die Auflagen zur Aufrechterhaltung der Zertifizierung erfüllt hat und somit behält das im Herbst 2007 vom TÜV NORD CERT ausgestellte Zertifikat seine Gültigkeit.

10.2 Akkreditierungen

10.2.1 Akkreditierung des Physikalischen Messlabors

Das Physikalische Messlabor wurde im Herbst 2006 nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Im Dezember 2008 stand die zweite Überwachung der Akkreditierung durch den von dem Deutschen Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH (DAP) benannten Fachbegutachter an. Die fachliche Arbeit des Labors stand bei dieser Überwachung im Mittelpunkt.

Im Ergebnis wurden zwei geringfügige Abweichungen festgestellt, die termingerecht bis zum 11.02.2009 behoben worden sind. Im Februar 2009 wurde seitens des DAP die Aufrechterhaltung der Akkreditierung für das Physikalische Messlabor ausgesprochen.

10.2.2 Akkreditierung des In-vivo Messlabors

Im Frühjahr 2008 wurde dem In-vivo Messlabor seitens des DAP die Akkreditierung für die folgenden Verfahren ausgesprochen:

„Direkte gammaspektrometrische Messung der Körperaktivität zur Bestimmung einer Körper- oder Organdosis im Ganzkörperzähler für Energien zwischen 100 und 2500 keV und im Teilkörperzähler für Energien zwischen 10 und 200 keV“.

Nach zwölf Monaten war die erste Überwachung der Akkreditierung erforderlich. Diese fand parallel zum Überwachungsaudit zur Zertifizierung im September 2008 statt. Der Begutachter stellte eine Abweichung fest. Diese Abweichung konnte bereits während der Begutachtung behoben werden, und die vorgeschlagene Korrekturmaßnahme wurde akzeptiert. Im Oktober wurde die Akkreditierung für das In-vivo Messlabor ohne weitere Auflagen bestätigt.

10.2.3 Akkreditierung des Kalibrierlabors

Ebenfalls im Dezember 2008 hat die Hauptabteilung Sicherheit mit dem Kalibrierlabor ihr drittes Laboratorium einem Akkreditierungsverfahren unterzogen. Da es sich bei den Aufgaben dieses Labors um Kalibriertätigkeiten handelt, musste der Antrag auf Akkreditierung beim Deutschen Kalibrierdienst (DKD) gestellt werden.

Am 16.12.2008 erfolgte die Begutachtung von zwei der vom Kalibrierlabor ausgeübten Tätigkeiten vor Ort im Laboratorium. Die Begutachter stellten neun Abweichungen fest, von denen sechs Abweichungen das Labor und drei Abweichungen das Qualitätsmanagementsystem betrafen. Zwei dieser Abweichungen wurden als „unerheblich“ und sieben als „von Bedeutung“ eingestuft. Unter der Voraussetzung, dass bis spätestens zum 16.05.2009 diese Abweichungen behoben sind, werden die Begutachter dem zuständigen Sektor-Komitee vorschlagen, das Kalibrierlabor zu akkreditieren.

10.3 Arbeitssicherheitsmanagementsystem

Das im Jahr 2007 von der Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG) zertifizierte Arbeitsschutzmanagementsystem wurde als Teil unseres Qualitätsmanagement-Systems im Rahmen des Überwachungsaudits für die Zertifizierung durch den TÜV NORD CERT auditiert (siehe 10.1). Für diesen speziellen Bereich wurde eine Abweichung festgestellt und die ausgesprochenen Empfehlungen werden im Rahmen des Zertifizierungsverfahrens umgesetzt.

10.4 Begutachtung des Radonlabors durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Im Herbst 2006 wurde dem Radonlabor durch das BfS ein funktionierendes Qualitätsmanagementsystem bescheinigt. Das Umweltministerium Baden-Württemberg hat in diesem Jahr basierend auf der Begutachtung durch das BfS das Radonlabor als Messstelle gemäß § 95 Abs. 10 Satz 4 StrlSchV bestimmt. Diese Bestimmung ist bundesweit gültig.

Im Jahr 2008 wurde damit begonnen, das vorhandene Qualitätsmanagementsystem in das HS-Qualitätsmanagementsystem so zu integrieren, dass ein Antrag auf eine Akkreditierung des Radonlabors erfolgversprechend gestellt werden kann.

10.5 Ausblick

Für das Jahr 2009 stehen folgende Aufgaben an:

- Aufrechterhaltung der Akkreditierungen für das Physikalische Messlabor, das In-vivo Messlabor und das Kalibrierlabor
- Erweiterung der bestehenden Akkreditierung des Kalibrierlabors auf die noch nicht akkreditierten Verfahren
- Aufrechterhaltung der Zertifizierung der Hauptabteilung Sicherheit. Hier müssen insbesondere die im Auditbericht festgehaltenen Empfehlungen schnellstmöglich umgesetzt werden.
- Vorbereitung der Chemischen Analytik zur Akkreditierung (Erweiterung der bestehenden DAP-Akkreditierung)
- Bedingt durch die anstehende Fusion des Forschungszentrums Karlsruhe mit der Universität Karlsruhe zum Karlsruher Institut für Technologie und der Gründung des Institutes für Strahlenforschung aus der Hauptabteilung Sicherheit sowie der Ausgliederung des Stilllegungsbereiches (Stilllegung kerntechnischer Anlagen) aus dem Forschungszentrum Karlsruhe wird das Qualitätsmanagement-System der HS großen Änderungen unterworfen sein

11 Veröffentlichungen

Becker, F.; Nagels, S.; Burgkhardt, B.; Böttger, R.; Lizon Aguilar, A.; Hampel, G.; Wortmann, B. Dosimetry in mixed gamma-neutron radiation fields and energy compensation filters for CaF2: Tm TL detectors. Radiation Measurements, 43(2008) S.921-24

Becker, F.; Nagels, S.; Burgkhardt, B.; Böttger, R.; Lizon Aguilar, A.; Hampel, G.; Wortmann, B. Dosimetry in mixed gamma-neutron radiation fields and energy compensation filters for CaF2: Tm TL detectors. 15th Solid State Dosimetry (SSD15), Delft, NL, July 8-13, 2007

Becker, F.; Nagels, S. Entwicklung von Photonen-Ortsdosimetern mit Thermolumineszenzdetektoren für die neue Messgröße Umgebungs-Äquivalentdosis H [10]. Strahlenschutzpraxis, 14(2008) Nr.2, S.24-28

Becker, F. Kompetenzerhalt im Strahlenschutz: Externe Dosimetrie in der Hauptabteilung Sicherheit am Forschungszentrum Karlsruhe. Vortr.: Paul Scherrer Institut, Villigen, CH, 4.Juli 2008

Becker, F.; Blunck, C.; Hegenbart, L.; Heide, B.; Leone, D.; Nagels, S.; Schimmelpfeng, J.; Urban, M. Modelling of hand phantoms and optimisation of dose measurements in inhomogeneous beta-photon radiation fields using the MCNP code. 12th Internat.Congress of the Internat.Radiation Protection Association (IRPA 12), Buenos Aires, RA, October 19-24, 2008

Breustedt, B.; Schimmelpfeng, J.; Zugenmaier, K.; Polig, E.; List, V.; Urban, M. Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporation von Plutonium und anderen Transuranen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS 253 (September 2008)

Breustedt, B.; Polig, E.; Schimmelpfeng, J.; Zugenmaier, K.; List, V.; Urban, M. Modeling the effects of decorporation-therapy with DTPA after incorporation of actinides. 12th Internat.Congress of the Internat.Radiation Protection Association (IRPA 12), Buenos Aires, RA, October 19-24, 2008

Burgkhardt, B.; Vilgis, M. Überwachung der Neutronen-Ortsdosis mit Festkörperdosimetern. Strahlenschutzpraxis, 14(2008) Nr.2, S.18-23

Doerfel, H.; Andrasi, A.; Bailey, M.; Berkovski, V.; Blanchardon, E.; Castellani, C.M.; Cruz-Suarez, R.; Hurtgen, C.; LeGuen, B.; Malatova, I.; Marsh, J.; Stather, J.; Zeger, J. A structured approach for the assessment of internal dose: the IDEAS guidelines. Radiation Protection Dosimetry, 127(2007) S.303-10

Doerfel, H.; Andrasi, A.; Cruz-Suarez, R.; Castellani, C.M.; Hurtgen, C.; Marsh, J.; Zeger, J. IAEA/IDEAS intercomparison exercise on internal dose assessment. Radiation Protection Dosimetry, 125(2007) S.56-60

Doerfel, H. IDEA system - a new computer-based expert system for incorporation monitoring. Radiation Protection Dosimetry, 127(2007) S.425-29

Fehrenbacher, G.; Festag, J.G.; Grosam, S.; Vogt, K.; Becker, F. Measurements of the ambient dose equivalent of produced X-rays at the linear accelerator UNILAC of GSI. 12th Internat.Congress of the Internat.Radiation Protection Association (IRPA 12), Buenos Aires, RA, October 19-24, 2008

Fellhauer, M.; Heise, S.; Kaminski, S.; Leim, C.; Wilhelm, C. Akkreditierung - Ein Erfahrungsbericht. Strahlenschutzpraxis, 14(2008) Nr.3, S.31-39

Gambarini, G.; Gallivanone, F.; Carrara, M.; Nagels, S.; Vogtlander, L.; Hampel, G.; Pirola, L. Study of reliability of TLDs for the photon dose mapping in reactor neutron fields for BNCT. Radiation Measurements, 43(2008) S.1118-22

Gambarini, G.; Gallivanone, F.; Carrara, M.; Nagels, S.; Vogtlander, L.; Hampel, G.; Pirola, L. Study of reliability of TLDs for the photon dose mapping in reactor neutron fields for BNCT. 15th Solid State Dosimetry (SSD15), Delft, NL, July 8-13, 2007

Giussani, A.; Nosske, D.; Birchall, A.; Blanchardon, E.; Breustedt, B.; Luciani, A.; Marsh, J.; Oeh, U.; Ratia, H.; Lopez, M.A. Characterisation, implementation and quality assurance of biokinetic models. The experience of the CONRAD task group 5.2. 12th Internat.Congress of the Internat.Radiation Protection Association (IRPA 12), Buenos Aires, RA, October 19-24, 2008

Gomez-Ros, J.M.; de Carlan, L.; Franck, D.; Gualdrini, G.; Lis, M.; Lopez, M.A.; Moraleda, M.; Zankl, M.; Badal, A.; Capello, K.; Cowan, P.; Ferrari, P.; Heide, B.; Henniger, J.; Hooley, V.; Hunt, J.; Kinase, S.; Kramer, G.H.; Löhnert, D.; Lucas, S.; Nuttens, V.; Packer, L.W.; Reichelt, U.; Vrba, T.; Sempau, J.; Zhang, B. Monte Carlo modelling of Germanium detectors for the measurement of low energy photons in internal dosimetry: Results of an international comparison. Radiation Measurements, 43(2008) S.510-15

Gomez-Ros, J.M.; de Carlan, L.; Franck, D.; Gualdrini, G.; Lis, M.; Lopez, M.A.; Moraleda, M.; Zankl, M.; Badal, A.; Capello, K.; Cowan, P.; Ferrari, P.; Heide, B.; Henniger, J.; Hooley, V.; Hunt, J.; Kinase, S.; Kramer, G.H.; Löhnert, D.; Lucas, S.; Nuttens, V.; Packer, L.W.; Reichelt, U.; Vrba, T.; Sempau, J.; Zhang, B. Monte Carlo modelling of Germanium detectors for the measurement of low energy photons in internal dosimetry: Results of an international comparison. 15th Solid State Dosimetry (SSD15), Delft, NL, July 8-13, 2007

Hegenbart, L.; Na, Y.H.; Zhang, J.Y.; Urban, M.; Xu, X.G. A Monte Carlo study of lung counting efficiency for female workers of different breast sizes using deformable phantoms. Physics in Medicine and Biology, 53(2008) S.5527-38

Hurtgen, C.; Andrasi, A.; Bailey, M.; Blanchardon, E.; Berkovski, V.; Castellani, C.M.; Doerfel, H.; Jourdain, J.R.; LeGuen, B.; Malatova, I.; Marsh, J.; Puncher, M. IDEAS internal contamination database: a compilation of published internal contamination cases. A tool for the internal dosimetry community. Radiation Protection Dosimetry, 125(2007) S.520-22

Lopez, M.A.; Etherington, G.; Castellani, C.M.; Franck, D.; Hurtgen, C.; Marsh, J.W.; Nosske, D.; Doerfel, H.; Andrasi, A.; Bailey, M.; Balashazy, I.; Battisti, P.; Berard, P.; Berkowski, V.; Birchall, A.; Blanchardon, E.; Bonchuk, Y.; de Carlan, L.; Cantone, M.C.; Challeton de Vathaire, C.; Cruz-Suarez, R.; Davis, K. ; Dorrian, D.; Giussani, A.; Le Gruen, B.; Hodgson, A.; Jourdain, J.R.; Koukouliou, V.; Luciani, A.; Malatova, I.; Molokanov, A.; Moraldeda, M.; Muikku, M.; Oeh, U.; Puncher, M.; Rahola, T.; Ratia, H.; Stradling, N. Coordination of research on internal dosimetry in Europe: The CONRAD project. Radiation Protection Dosimetry, 127(2008) S.311-16

Lopez, M.A.; Etherington, G.; Castellani, C.M.; Franck, D.; Hurtgen, C.; Marsh, J.W.; Nosske, D.; Breustedt, B.; Blanchardon, E.; Andrasi, A.; Bailey, M. R.; Balashazy, I.; Battisti, P.; Berard, P.; Birchall, A.; Broggio, D.; Challeton- de-Vathaire, C.; Cruz-Suarez, R.; Doerfel, H.; Giussani, A.; Hodgson, A.; Koukouliou, V.; Kramer, G. H.; Le Guen, B.; Luciani, A.; Malatova, I.; Molokanov, A.; Moraleda, M.; Muikku, M.; Oeh, U.; Puncher, M.; Rahola, T.; Stradling, N.; Vrba, T. Internal dosimetry: towards harmonisation and coordination of research. Radiation Protection Dosimetry, 131(2008) S.28-33

Luciani, A.; Polig, E. Surface-seeking radionuclides in the skeleton: Current approach and recent developments in biokinetic modelling for humans and beagles. Radiation Protection Dosimetry, 127(2007) S.140-43

Marsh, J.W.; Blanchardon, E.; Castellani, C.M.; Desai, A.D.; Dorrian, M.D.; Hurtgen, C.; Koukouliou, V.; Lopez, M.A.; Luciani, A.; Puncher, M.; Andrasi, A.; Bailey, M.R.; Berkovski, V.; Birchall, A.; Bonchug, Y.; Doerfel, H.; Malatova, I.; Molokanov, A.; Ratia, H. Evaluation of scattering factor values for internal dose assessment following the IDEAS guidelines: Preliminary results. Radiation Protection Dosimetry, 127(2008) S.339-42

Marsh, J.W.; Castellani, C.M.; Hurtgen, C.; Lopez, M.A.; Andrasi, A.; Bailey, M.R.; Birchall, A.; Blanchardon, E.; Desai, A.D.; Dorrian, M.D.; Doerfel, H.; Koukouliou, V.; Luciani, A.; Malatova, I.; Molokanov, A.; Puncher, M.; Vrba, T. Internal dose assessments: uncertainty studies and update of ideas guidelines and databases within CONRAD project. Radiation Protection Dosimetry, 131(2008) S.34-39

Nagels, S. Bilanz des Forschungsvorhabens Radon in Wasserwerken. Fachtechnische Fortbildung des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Gernsbach, 10.Dezember 2008

Nagels, S.; Hampel, G.; Zauner, S. Nachwuchsförderung im Fachverband für Strahlenschutz. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Mainz, 15.-18.September 2008

Nosske, D.; Birchall, A.; Blanchardon, E.; Breustedt, B.; Giussani, A.; Luciani, A.; Oeh, U.; Lopez, M.A.Development, implementation and quality assurance of biokinetic models within CONRAD. Radiation Protection Dosimetry, 131(2008) S.40-45

Schimmelpfeng, J. Physiologische Biokinetik in der Strahlenforschung. (eingeladen) Vortr.: Fachhochschule Kaiserslautern-Zweibrücken, 16.April 2008

Strandberg, E.; Kanithasen, N.; Tiltak, D.; Bürck, J.; Wadhwani, P.; Zwernemann, O.; Ulrich, A.S. Solid-state NMR analysis comparing the designer-made antibiotic MSI-103 with its parent peptide PGLa in lipid bilayers. Biochemistry, 47(2008) S.2601-16

Urban, M.; Bickel, A.; Kraut, W. Berufsakademie Karlsruhe - University of Cooperative Education and Karlsruhe Research Center. Dual education for a career as radiation protection engineer. EUTERP 2nd Workshop, Vilnius, LT, April 23-25, 2008

Urban, M.; Bickel, A.; [Hrsg.] Jahresbericht 2007 der Hauptabteilung Sicherheit. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7410 (August 2008)

Vilgis, M.; Burgkhardt, B. Überwachung der Neutronen-Ortsdosis mit Festkörperdosimetern. Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität Fachverband für Strahlenschutz Loseblattsammlung des Arbeitskreises Umweltüberwachung FS-78-15-AKU Blatt 3.1.2.1 (August 2007)

12 Literatur

[Ack91] M. J. Ackerman. The visible human project. J Biocommun, 18(2):14, 1991.

[Aea02 AEA Technology. QSA GmbH, private Mitteilung, 12.11.2002

[Ans07] Ansoborlo E., Bion L., Doizi D., Moulin C., Lourenco V., Madic C., Cote G., Van der Lee J. and Moulin V.: Current and future radionuclide speciation studies in biological media, Radiation Protection Dosimetry Advance Access published online on June 19, Radiation Protection Dosimetry, doi:10.1093/rpd/ncm258,1-6, 2007

[Bac97] Bacaro et al., NIMA 385 (1997), 69-73

[Bar90] J. Barker, J. P. Day, T. W. Aitken, T. R. Charlesworth, R. C. Cunningham, P. V. Drumm, J. S. Lilley, G. W. A. Newton and M. J. Smithson, Development of 26Al accelerator mass spectrometry for biological and toxicological applications, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B., 1990, 52, 540–543

[Bec08] Becker F., Blunck C., Hegenbart L., Heide B. and Schimmelpfeng J.: Radiation protection in inhomogeneous beta-gamma fields and modelling of handphantoms with MCNPX, submitted to Radiation Protection Dosimetry.

[Bec08] Becker F., Blunck C., Hegenbart L., Heide B., Leone D., Nagels S. and Schimmelpfeng J.: Modelling of hand phantoms and optimization of dose measurements in inhomogeneous beta-photon-radiation fields using the MCNP code, ICRP 12, 2008.

[Bec08] F. Becker, Ch. Blunck, L. Hegenbart, B. Heide, D. Leone, S. Nagels, and J. Schimmelpfeng: Modelling of Hand Phantoms and Optimisation of Dose Measurements in Inhomogeneous Beta-Photon-Radiation Fields Using the MCNP Code. In: 12th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA), Buenos Aires, Argentina, October 2008.

[Bel59] Yu.A. Beliayev, Med. Radiol. Mosk 4 (1959) 45–51

[Ber95] Berthold Technologies, Betriebsanleitung. Neutronensonde. LB 6411, Bad Wildbad, 1995

[Bes92] P. J. Besl and N. D. McKay. A Method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intel ligence, 14(2):239–256, 1992.

[Blu07] Ch. Blunck, Jahresbericht 2007 der Hauptabteilung Sicherheit S. 86-88, Abb. 6-19.(http://www.fzk.hs.de/Veroeffentlichungen/Jahresberichte/mainColumnParagraphs/0/text_files/file/Jahresbericht%202007%20mit%20Deckblatt-080725.pdf)

[Bre08] Breustedt et al., Entwicklung biokinetischer Modelle zur Beschreibung der Wirkung von DTPA in Hinblick auf die Diagnostik und Therapie bei Inkorporation von Plutonium und anderen Transuranen, Abschlussbericht des Projektes BWT 24008, erschienen in der Berichtsreihe FZKA-BWPLUS, Karlsruhe 2008

[Bre09] Breustedt et al., BIOKINETIC MODELING OF DTPA DECORPORATION THERAPY: THE CONRAD APPROACH, Radiation Protection Dosimetry, accepted for publication 12.03.09, 2009.

[Bun06] Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen; Herausgeber: Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Stand: 1.3.2006;

Gustav Fischer Verlag Stuttgart Jena H-Rn-222-TWASS Kap. 7 „Schnellverfahren zur Bestimmung von Radon-222 in Trinkwasser

[Bur00] Burgkhardt, B., Ambrosi, P., Rimpler, A.; Einsatz von Albedodosimetern zur Messung kleiner Dosen in gemischten Photonen-Neutronen-Strahlungsfeldern an Transportbehältern für hochradioaktiven Abfall. Bericht FZKA 6217 (Februar 2000)

[Bur08] Burgkhardt, Bertram, Forschungszentrum Karlsruhe, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe, Notizen, August 2008

[Can06] Canberra Industries, Inc., Genie 2000 Spectroscopy Software Customization Tools v 3.1. (2006)

[Cle08] Harvey J. Clewell III, Melvin E. Andersen, Bas J. Blaauboer. On the incorporation of chemical-specific information in risk assessment. Toxicology Letters 180 (2008) 100–109

[Day94] J. P. Day, J. Barker, S. J. King, R. V. Miller, J. Templar, J. S. Lilley, P. V. Drumm, G. W. A. Newton, L. K. Fifield, J. O. H. Stone, G. L. Allan, J. A. Edwardson, P. B. Moore, I. N. Ferrier, N. D. Priest, D. Newton, R. J. Talbot, J. H. Brock, L. Sa´nchez, C. B. Dobson, R. F. Itzhaki, A. Radunovic´ and M. W. B. Bradbury, Biological chemistry of aluminium studied using 26Al and accelerator mass spectrometry, Nucl. Instru. Meth. Phys. Res., 1994, B92, 463–468

[Doe06] H. Doerfel, B. Heide, and M. Sohlin. Entwicklung eines Verfahrens zur numerischen Kalibrierung von Teilkörperzählern. Wissenschaftlicher Bericht FZKA 7238, Forschungszentrum Karlsruhe, Juni 2006

[Dur06] Durbin, P. W. The chemistry of the actinide and transactinide elements. In: Morss, L. R., Edelstein, N. M., Fuger, J. and Katz, J. J., Eds. third eds, Vol. 5, 2006

[EO08] Eichordnung vom 12. August 1988 (BGBl. I S. 1657), zuletzt geändert durch Artikel 3 Abschnitt 2 § 14 des Gesetzes vom 13. Dezember 2007 (BGBl. I S. 2930)"

[Geh04] Gehrke, R.J., Aryaeinejad, R., Hartwell, J.K., Yoon, W.Y, Reber, E., Davidson, J.R., The -ray spectrum of 252 and the information contained within it, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 213, 2004, S. 10-21

[Gom07] Gómez-Rosa, J. M., de Carlan, L., Franck, D., Gualdrini, G., Lis, M., López, M. A., Moraleda, M., Zankl, M., Badalf, A., Capello, K et al, Monte Carlo modelling of Germanium detectors for the measurement of low energy photons in internal dosimetry: results of an international comparison. Radiation Measurements 43, 510-515 (2007)

[Gom07] Gómez-Rosa, J. M., de Carlan, L., Franck, D., Gualdrini, G., Lis, M., López, M. A., Moraleda, M., Zankl, M., Badalf, A., Capello, K et al, Monte Carlo modelling of Germanium detectors for the measurement of low energy photons in internal dosimetry: results of an international comparison. Radiation Measurements 43, 510-515 (2007)

[Gri78] R. Griffith, P. N. Dean, A. L. Anderson, and J. C. Fisher. Fabrication of a tissue-equivalent torso phantom for intercalibration of in-vivo transuranic-nuclide couning facilities. In Symp. on Advances in Radiation Protection Monitoring, Stockholm, Sweden, June 1978

[Gri86] R. V. Griffith, A. L. Anderson, P. N. Dean, J. C. Fisher, and C. W. Sundbeck. Tissue-equivalent torso phantom for calibration of transuranic-nuclide counting

facilities. In Radiobioassay and internal dosimetry workshop, Albuquerque, NM, January 1986

[Gui84] Guilmette RA, Diel JH, Muggenburg BA, et al.. Biokinetics of Inhaled Plutonium-239 Dioxide in the Beagle Dog: Effect of Aerosol Particle Size. Int J Radiat Biol Relat Stud Phys Chem Med 45(6):563-581 (1984)

[Heg06] L. Hegenbart and B. Heide. Numerische Effizienzkalibrierung bei In-vivo-Messverfahren mittels an den Probanden angepassten Voxelmodelle. Annual Report FZKA-7330, Central Safety Department, FZK, Karlsruhe, Germany, 2006

[Heg07] L. Hegenbart and B. Heide. Numerische Effzienzkalibrierung bei In-vivo-Messverfahren mittels an den Probanden angepassten Voxelmodelle. Annual Report FZKA-7410, Central Safety Department, FZK, Karlsruhe, Germany, 2007

[Heg08] L. Hegenbart, Phoswich-Positionserfassungessystem in der Teilkörperzählkammer, Laborinterer Bericht, Forschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit-KES, September 2008

[Heg09] L. Hegenbart, O. Marzocchi, B. Breustedt, and M. Urban. Validation of a Monte Carlo effciency calibration procedure for a partial body counter system with a voxel model of the LLNL Torso Phantom. Radiation Protection Dosimetry, accepted 19-Feb, 2009

[Hug05] H. G. Hughes: Improved Logic for Sampling Landau Straggling in MCNP5. Los Alamos National Laboratory (September 2005), LA-UR-02-6562. URL (am 06.03.2009): http://mcnp-green.lanl.gov/publication/mcnp_publications.html.

[Iba05] L. Ibanez, W. Schroeder, L. Ng, and J. Cates. The ITK Software Guide. Insight Software Consortium, 2nd edition, November 2005. Updated for ITK version 2.4

[ICRP30] ICRP, International Commission on Radiological Protection, Publication 30 (part 3), Annals of the ICRP, 6, 2/3, Pergamon Press, Oxford, UK, 1981, 12–13

[ICRP48] International Commission on Radiological Protection. The metabolism of plutonium and related elements. ICRP Publication 48, Pergamon Press, Oxford; Ann. ICRP 16(2/3), 1986

[ICRP66] International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24(1-3). (Oxford: Pergamon Press) (1994).

[ICRP67] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 2. Ingestion Dose Coefficient. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23(3/4). Elsevier Science, Ltd., Oxford (1994)

[ICRP68] International Commission on Radiological Protection. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, Replacement of ICRP Publication 68, Ann. ICRP 24(2), ICRP Publication 68, Ann. ICRP 24(4). Elsevier Science, New York (1994)

[ICRP69] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 3. Ingestion Dose Coefficient. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25(1). Elsevier Science, New York (1995)

[ICRP71] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 4. Inhalation Dose Coefficient. ICRP Publication 71. Ann. ICRP 25(3/4). Elsevier Science, New York (1996)

[ICRP74] International Commission on Radiological Protection, ICRP 74. Annals of the ICRP. ICRP Publication 74. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation, Oxford, 1997

[ICRU35] International Commission on Radiation Units and Measurements [ed.]: Radiation Dosimetry: Electron Beams with Energies Between 1 and 50 MeV. ICRU Report 35 (Bethesda, Maryland, USA), 1984

[ISO01] Norm ISO 8529-1, Reference neutron radiations. Part 1: Characteristics and methods of production, 2001

[Jon85] Jones, S. R. Derivation and Validation of a Urinary Excretion Function for Plutonium Applicable over Tens of Years Post Uptake. Radiation Protection Dosimetry 11: 19-27 (1985)

[Kai05] W. Kaim und B. Schwederski. Bioanorganische Chemie. 4.te Auflage, 2005. B.G. Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden

[Kar77] Kurzes Lehrbuch der Biochemie, P. Karlson, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1977

[Kat04] Kathren, R. L. A Review of Contributions of Human Tissue Studies to Biokinetics, Bioeffects and Dosimetry of Plutonium in Man. Radiation Protection Dosimetry 109: 399-407 (2004)

[Kat88] Kathren, R. L., McInroy, J. F., MReichert, M. M. and Swint, M. J. Partitioning of ^{238}Pu, ^{239}Pu, and ^{241}Am in Skeleton and Liver of U.S. Transuranium Registry Autopsy Cases. Health Physics 54: 181-188 (1988)

[Kei08] Keiber, Nicole, Planung und Konstruktion einer Kontrollvorrichtung für Wiederkehrende Prüfungen von elektronischen Personendosimetern für Neutronen und Photonen, Diplomarbeit Berufsakademie Karlsruhe, 2008

[Kho04] Khokhryakov, V. F. et al.: Relative Role of Plutonium Excretion with Urine and Feces from Human Body. Health Physics. 86 (5): 523-527 (2004)

[Lau68] Laurer, G.R. The in vivo measurement of lung burdens of radio-nuclides emitting soft penetrating radiations, available from: UMI, 300 N.Zeeb Rd. Ann Arbor, MI, USA, Order 6904570 (1968)

[Leg05] Leggett R.W., Eckerman K. F., Khokhryakov V. F., Suslova K. G., Krahenbuhl M. P. and Miller S. C. Mayak worker study: An improved biokinetic model for reconstructing doses from internally deposited plutonium. Radiation Research 164, 111-122, 2005

[Leg05] Leggett, R.W., Eckerman, K.F., Khokhryakov, V.F., Suslova, K.G., Krahenbuhl, M.P. and Miller, S.C. Mayak Worker Study: an Improved Biokinetic Model for Reconstructing Doses from Internally Deposited Plutonium, Radiation. Research 164(2): 111–122 (2005)

[Lie08] CAD-Zeichnungen: Liedkte, Timo, Forschungszentrum Karlsruhe, Kompetenzerhalt im Strahlenschutz, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

[Lop08] Lopez MA et al., Final Report of CONRAD Work Package 5 “Coordination of Research on Internal Dosimetry”. EC Project Num FP6-12684. EURATOM 2005-2008. Editorial CIEMAT. ISBN 978-84-7834-583-0, 2008

[Lor80] Lorch, E.A., The concept of recommended working life applied to radiation sources, Radiological Protection Bulletin 34, 1980, S. 20-22

[Luc00] Luciani, A. and Polig, E. Verification and modification of the ICRP-67 model for plutonium dose calculation. Health Phys. 78(3), 303–310 (2000)

[Luc00] Luciani, A., Polig, E. Verification and Modification of the ICRP-67 Model for Plutonium Dose Calculation, Health Physics 78(3): 303-310 (2000)

[Luc01] Luciani, A., Plutonium Dose Assessments Based on a New Model Derived from ICRP 67, Health Physics 80(6): 618-619 (2001)

[Man87] Mannhart, W., Evaluation of the Cf-252 Fission Neutron Spectrum between 0 MeV and 20 MeV, Properties of Neutron Sources. Proc. Advisory Group Meeting. IAEA-TECDOC-410, Leningrad, 09.-13.06.1986, S. 158-170

[Mar07] O. Marzocchi. Characterisation of a Canberra Cryo Pulse CP-5 Radiation Detector. Annual Report FZKA-7410, Central Safety Department, FZK, Karlsruhe, Germany, 2007

[Mar86] R.B. Martin, The chemistry of aluminium as related to biology and medicine. Clin. Chem., 32/10: 1797-1806, 1986

[Mar91] H.M. Marques. Kinetics of the release of aluminium from human serum dialuminium transferrin to citrate. J. Inorg. Biochem. 41, 187

[Met07] Radon Report 2007; Melanie Metz; California Department of Health Services

[Mut01] E. Mutschler, G. Geisslinger, H. K. Kroemer und M. Schäfer-Korting, Mutschler Arzneimittelwirkungen, 8. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 2001

[Nag07] S. Nagels, Private Mitteilungen, HS-KES, Forschungszentrum Karlsruhe

[NCRP156] National Council on Radiation Protection & Messurements, , Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds for Their Assessment, Dosimetry and Treatment, NCRP Report No. 156 (2006)

[NIST08] National Institute of Standards and Technology (2008), URL (am 06.03.2009): http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html

[Nol01] E. Nolte, E. Beck, C. Winklhofer and C. Steinhausen. Compartmental model for aluminium biokinetics, Human & Experimental Toxicology (2001) 20, 111-117

[Nos08] Nosske D et al. Development, implementation and quality assurance of biokinetic models within CONRAD, Radiat Prot. Dosim, 131(1) 40-45, (2008)

[Par97] Park JF, Buschbom RL, Dagle GE, et al. Biological Effects of Inhaled 238PuO2 in Beagles. Radiat Res 148:365-381 (1997)

[Pel05] D. G. Pelowitz. MCNPX User’s Manual version 2.5.0. Technical Report LA-CP-05–0369, Los Alamos National Laboratory, 2005

[Pel05] Denise B. Pelowitz, MCNPX USER’S MANUAL, Version 2.5.0, April 2005

[Pri04] N. D. Priest, 2004: The biological behaviour and bioavailability of aluminium in man, with special reference to studies employing aluminium-26 as a tracer: review and study update. J. Environ. Monit. 2004, 6, 375-403

[Psc02] Pschyrembel – Klinisches Wörterbuch, 259.te Auflage, de Gryter, Berlin, 2002

[Rey02] N. Reynaert, H. Palmans, R. Jeraj, and H. Thierens: Parameter Dependence of The MCNP Electron Transport in Determining Dose Distributions. Med. Phys. 29 (10), (2002), p. 2446

[Rob07] Roberts, N.J., Jones, L.N., The content of 250Cf and 248Cm in 252Cf neutron sources and the effect on the neutron emission rate, Radiation Protection Dosimetry Vol. 126, 2007, S. 83-88

[Sac00] Sachse, F.B., Werner, C.D., Müller, M., Meyer-Warden, K. and Dössel, O.: Development of a human body model for numerical calculation of electric fields. Computerized Medical Imaging and Graphics, 24 (3):165-171, 2000. http://www.ibt.uni-karlsruhe.de/english/973.php

[Sac04] Sachs, L. Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. Springer-Verlag GmbH (2004)

[Sac96] F. B. Sachse, C. Werner, M. Müller, and K. Meyer-Waarden. Preprocessing of the visible man dataset for the generation of macroscopic anatomical models. In Proc. First Users Conference of the National Library of Medicine's Visible Human Project, pages 123–124, 1996

[Sac96] F. B. Sachse, M. Glas, M. Müller, and K. Meyer-Waarden. Segmentation and tissue-classification of the visible man dataset using the computertomographic scans and the thin-section photos. In in Proc. First Users Conference of the National Library of Medicine's Visible Human Project, pages 125–126, 1996

[Sch00] Schmidt-Thews-Lang, Physiologie des Menschen, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 28.ste Auflage, 2000

[Sch02] D. R. Schaart, J. Th. M. Jansen, J. Zoetelief, and P. F. A. de Leege: A Comparison of MCNP4C Electron Transport With ITS 3.0 And Experiment at Incident Energies Between 100 keV And 20 MeV: Influence of Voxel Size, Substeps, And Energy Indexing Algorithm. Phys. Med. Biol. 47 (2002), p. 1459

[Sch75] C. A. Schlieper, Grundfragen der Ernährung, 3te Auflage, Verlag Handwerk und Technik GmbH, Hamburg, 1975

[Sch96] Siegfried Georg Schäfer, Bernd Elsenhans, Klaus-Otto Schümann, Ulrich Hagen 1996, Plutonium - Eine toxikologische Bestandsaufnahme. Dt. Ärztebl. 1996; 93: A-2151–2156 - [Heft 34-35]

[SSV01] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen, Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)

[Sta83] Stather et al., The Retention of 14C-DTPA in human volunteers after inhalation or intravenous injection, Health Physics 44(1), 45-52, 1983

[Ste68] W. Stevens, F.W. Bruenger, B.J. Stover, Radiat. Res. 33 (1968) 490–500

[Tay98] D. M. Taylor, The bioinorganic chemistry of actinides in blood. Journal of Alloys and Compounds 271-273, 6-10, 1998

[Til02] The Measure of Man and Woman – Human Factors in Design. Tilley, A., Henry Dreyfuss Associates. Wiley 2002

[Tra08] Stefanie Trappen: Studienarbeit II, BA Karlsruhe: Ermittlung der Teilkörperdosis in einem inhomogenen Beta-/Photonen-Strahlungsfeld zur Strahlenschutzoptimierung; sowie Diplomarbeit, BA Karlsruhe: Strahlenschutz beim Einsatz von Betanukliden in medizinischen Heilverfahren

[Tur68] G.A. Turner, D.M. Taylor, Radiat. Res. 36 (1968) 22–30

[Ugi08] Planung und Konstruktion der WKP Einrichtung für Neutronen zur Prüfung von elektronischen Neutronenpersonendosimetern: Ugi, Siegfried, Forschungszentrum Karlsruhe, Kompetenzerhalt im Strahlenschutz, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

[UMBW07] Umweltministerium Baden-Württemberg, Lesefassung der Genehmigung Nr. K/113/89. in der Version 5.91 vom 22.05.2004, Stuttgart, 2007

[UST07] http://www.ustur.wsu.edu/DeidentifiedData/Radiochemistry.html, USTUR Case 0679 online

[Vol78] Volf V, Treatment of incorporated transuranium elements, IAEA Technical Reports Series No .184, International Atomic Energy Agency, Wien 1978

[X5m03] X-5 Monte Carlo Team, MCNP – A general Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory, 2003

[Yoo04] T. S. Yoo. Insight into Images: Principles and Practice for Segmentation, Registration, and Image Analysis. AK Peters, 1st edition, July 2004

[Zub94] I. G. Zubal, C. R. Harrell, E. O. Smith, Z. Rattner, G. Gindi, and P. B. Hoffer. Computerized three-dimensional segmented human anatomy. Med Phys, 21(2):299–302, Feb 1994